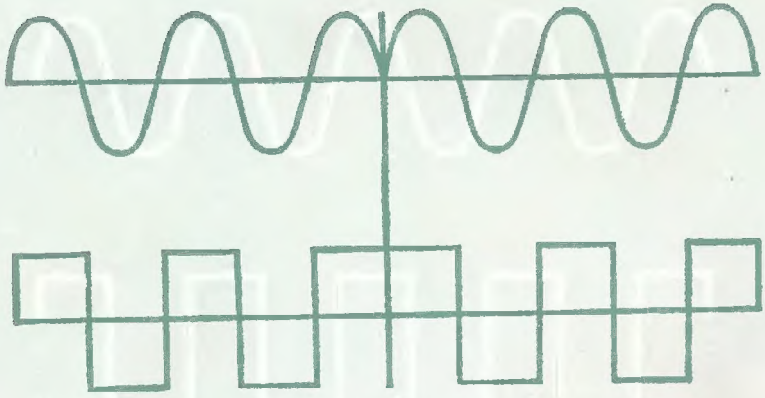
ПРОФТЕХОБРАЗОВАНИЕ

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

П. Н. НОВИКОВ, В. Я. КАУФМАН

ЗАДАЧНИК ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ С ОСНОВАМИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ



П. Н. НОВИКОВ, В. Я. КАУФМАН

ЗАДАЧНИК ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ С ОСНОВАМИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
КАНД. ТЕХН. НАУК Е. И. ЛЬВОВА

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета
Совета Министров СССР
по профессионально-техническому
образованию в качестве
учебного пособия для средних
профессионально-технических
учебных заведений

КНА
1975

МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1975

П2.1
Н73

Со всеми предложениями и замечаниями о книге просим обращаться по адресу: *Москва, К-51, Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».*

Н $\frac{30306—277}{052(01)—75}$ 44—75

© Издательство «Высшая школа», 1975 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Научно-технический прогресс в нашей стране определяет высокие темпы развития электроэнергетической, электротехнической и электронной промышленности. Поэтому важное значение приобретает подготовка квалифицированных рабочих энергетических специальностей.

Большое внимание в Директивах XXIV съезда КПСС уделено развитию средних профессионально-технических учебных заведений системы профтехобразования.

Настоящий задачник составлен для средних профессионально-технических учебных заведений в соответствии с действующей учебной программой по курсу «Электротехника с основами промышленной электроники».

Для успешного решения задач по электротехнике необходимы не только специальная подготовка учащихся по курсу электротехники и электроники, но и знания общеобразовательных дисциплин, таких, как математика, физика, химия. Чтобы облегчить учащимся работу над задачами, в начале каждой главы приведены краткие теоретические сведения, необходимые для решения, а также справочные данные — приложения.

В связи с необходимостью индивидуального подхода к учащимся, а также многообразием профессий, для которых предназначено данное учебное пособие, в него включены задачи разного типа.

Некоторые задачи составлены таким образом, что для их решения необходимы знания по общеобразовательным предметам; наиболее сложные задачи, которые требуют пояснения, отмечены знаком *. Многие задачи связаны со специальной технологией и производственным обучением.

Задачник должен способствовать более глубокому усвоению программного материала курса «Электротехника с основами промышленной электроники».

ГЛАВА I

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОСТАТИКИ

§ 1. ФИЗИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Физические явления в природе, связанные с наличием заряда в различных телах, объясняются на основе современной электронной теории строения вещества.

Задачи

1. Какими простейшими способами можно удалить электрические заряды с наэлектризованной стеклянной палочки?

2. Почему легкая бумажка, лежащая на деревянном столе, притягивается к заряженной палочке слабее, чем лежащая на металлическом?

3. В соленую воду был опущен порошок металла, после чего наблюдалось выпадение осадка. Как будет заряжен раствор в этом случае?

4. Изменяется ли общее число заряженных частиц при электризации?

5. В течение какого времени масса нити лампы накаливания уменьшится вдвое, если ежесекундно из нее вылетает 10^{12} электронов? Начальная масса нити 10^{-3} кг, масса электрона $9 \cdot 10^{-31}$ кг.

6. Какое количество протонов имеет массу 10^{-8} кг? Масса протона $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг.

7. Можно ли передать весь заряд с одного проводника другому?

§ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Одним из основных законов электростатики является закон Кулона, который выражается в виде

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon l_q^2}, \qquad (1)$$

где F — сила взаимодействия двух заряженных тел, $Н$; q_1 и q_2 — величины зарядов, Кл; l_q — расстояние между

зарядами, м;

$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}$ — электрическая постоянная, Ф/м;

ε — относительная диэлектрическая проницаемость среды:

$$\varepsilon = \frac{F_0}{F}, \qquad (2)$$

здесь F_0 — сила взаимодействия зарядов в вакууме, Н.

Напряженность поля есть отношение силы, действующей на заряд, помещенный в данной точке пространства, к величине этого заряда:

$$E_п = \frac{F}{q} \text{ [Н/Кл]}. \qquad (3)$$

Электрическое напряжение или разность потенциалов представляет собой отношение работы, совершаемой при перемещении заряда из одной точки в другую, к величине этого заряда:

$$U_{AB} = \frac{W_A}{q} \text{ [В]}. \qquad (4)$$

Между напряженностью равномерного электрического поля и разностью потенциалов существует следующая связь:

$$E_п = \frac{U_{AB}}{l_{AB}} \text{ [В/м]}, \qquad (5)$$

где l_{AB} — вектор перемещения из точки A в точку B, м.

Задачи

8. Зачем верхние концы громоотвода заостряют?

9. Почему нельзя передать телу ограниченного объема произвольно большой заряд?

10. Во сколько раз изменится сила притяжения между двумя заряженными телами, если: а) расстояние между ними увеличить вдвое; б) один из зарядов уменьшить втрое; в) оба заряда увеличить вдвое; г) один из зарядов уменьшить вдвое, а другой увеличить втрое?

11. Два заряда, находящиеся на определенном расстоянии, действуют друг на друга в вакууме с силой 10^{-4} Н, а в жидкости — с силой $5 \cdot 10^{-5}$ Н. Найти относительную диэлектрическую проницаемость жидкости.

12. Заряженный шар массой 10^{-3} кг свободно висит в воздухе на расстоянии 0,1 м над телом, заряженным одноименным зарядом. Определить величину заряда шара, если он в 10 раз меньше заряда тела.

13. Шар радиусом 0,1 м имеет заряд 0,01 Кл. Определить величину заряда, приходящуюся на единицу поверхности шара.

14. У двух одноименно заряженных шаров, находящихся на расстоянии 0,1 м, один заряд больше другого в 4 раза. На каком расстоянии между ними нужно расположить третий шар, чтобы он находился в равновесии?

15. Сила взаимодействия двух одинаково заряженных шаров уравновешивает силу тяготения 10 Н, действующую между ними. Чему равна величина заряда шаров, если масса каждого из них 10^{-3} кг?

16. Два шара, помещенные в герметизированную колбу, из которой удален воздух, взаимодействуют с силой F_0. Затем колбу заполнили газом, и сила взаимодействия зарядов стала уменьшаться во времени по закону $F=F_0(1-e^{-\frac{t}{\tau}})$. Определить закон изменения относительной диэлектрической проницаемости и ее значение для данного газа, если $\tau=1$ с.

17. В каком направлении будет двигаться отрицательный точечный заряд в трех случаях (*а*, *б*, *в*), указанных на рис. 1. Силы взаимодействия обоих заряженных тел на заряд в данной точке одинаковы.

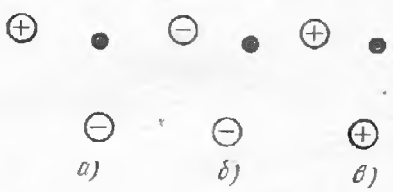


Рис. 1. К задаче 17

18. Построить график зависимости силы взаимодействия двух зарядов величиной $2\cdot10^{-6}$ Кл и $3\cdot10^{-6}$ Кл от расстояния между ними. Графически определить силу взаимодействия при $l_q=0{,}15$; 0,25; 0,35 м.

19. В электростатической системе заряды шаров A, B и C соответственно равны: $q_A=10^{-6}$ Кл; $q_B=2\cdot10^{-6}$ Кл; $q_C=5\cdot10^{-6}$ Кл. Найти результирующую силу, действующую на шар B, если отрезки AB и BC взаимно перпендикулярны и составляют 0,1 и 0,2 м. $\varepsilon=1$.

20. В определенной точке пространства поле действует на заряд 10^{-3} Кл с силой 0,1 Н. С какой силой будет действовать поле на заряды в 10^{-4} Кл, 10^{-2} Кл?

21. Напряженность электрического поля у поверхности Земли составляет в данной точке 130 В/м. Определить напряжение между головой человека ростом 1,7 м и его ногами. Почему человек не ощущает этого напряжения?

22. Две параллельные пластины заряжены до напряжения 100 В и находятся одна от другой на расстоянии 0,1 м. Какая сила действует на помещенный между пластинами заряд 10^{-3} Кл? Как изменится эта сила, если расстояние между пластинами увеличить вдвое?

23. Определить работу, совершаемую в однородном поле напряженностью 150 В/м при перемещении заряда 10^{-4} Кл на расстояние 0,2 м: а) параллельно силовым линиям; б) под углом 60°.

24. Каково напряжение между точками A и C, если напряжение между точками A и B равно 120 В; а между C и B — 180 В? Найти расстояние между точками A и B, находящимися в поле напряженностью 200 В/м.

25. При напряженности поля 200 В/м напряжение между точками A и B равно 50 В. Чему будет равно это напряжение, если напряженность: а) уменьшить вдвое; б) увеличить втрое? Найти расстояние от A до B.

26. Для переноса заряда в 10^{-2} Кл из точки A в точку B была затрачена работа 1 Дж. Какая работа должна быть совершена на перенос заряда в 10^{-3} Кл, 10^{-1} Кл?

27. Определить величину заряда, при перемещении которого вдоль однородного поля напряженностью 250 В/м на расстояние 0,1 м была затрачена работа 0,2 Дж.

§ 3. ЕМКОСТЬ КОНДЕНСАТОРОВ

Емкость конденсатора

$$C = \frac{q}{U_{AB}} \ [\Phi], \tag{6}$$

где U_{AB} — разность потенциалов между обкладками конденсатора, В; q — абсолютное значение заряда одной из обкладок, Кл.

Емкость конденсатора определяется только геометрическими характеристиками конденсатора и относительной диэлектрической проницаемостью диэлектрика, помещенного между его обкладками.

На практике применяются плоские конденсаторы, емкость которых

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{l_c}, \tag{7}$$

где S — площадь одной обкладки, м²; l_c — расстояние между пластинами обкладок, м.

Заряженный конденсатор обладает энергией, которую он получает в процессе зарядки и отдает при разрядке. Эта энергия определяется по формуле

$$W_э = \frac{CU^2}{2} \text{ [Дж]}, \qquad (8)$$

где U — напряжение между обкладками конденсатора, В.

Задачи

28. Определить, каким зарядом обладает конденсатор емкостью 1 мкФ, если напряжение между его обкладками 50 В.

29. Найти емкость конденсатора, площадь пластины обкладки которого 10^{-3} м², а расстояние между обкладками 0,1 мм. $\varepsilon=7$.

30. Как изменится емкость конденсатора: а) при увеличении площади обкладки в 3 раза; б) при уменьшении расстояния между пластинами обкладок в 4 раза; в) при одновременном уменьшении площади в 2 раза и расстояния в 3 раза?

31. Почему при включении электролитического конденсатора в цепь необходимо соблюдать полярность, указанную в его маркировке?

32. Между двумя заряженными обкладками конденсатора существует электрическое поле, которое исчезло, когда обкладки соединили проволокой. В какой вид энергии преобразовалась энергия электрического поля?

33. Определить площадь обкладки конденсатора, расстояние между обкладками которого 0,2 мм, если его емкость 0,1 мкФ. $\varepsilon=50$.

34. Чему равна емкость плоского конденсатора с круглыми обкладками диаметром 10 мм, если $l_c=0{,}05$ мм, а $\varepsilon=40$?

35. Какова величина ε диэлектрика конденсатора, если площадь обкладки $S=10^{-2}$ м² и $l_c=0{,}05$ мм, а его емкость 0,1 мкФ?

36. При увеличении площади обкладок конденсатора на 10^{-2} м² его емкость увеличилась в 3 раза. Найти первоначальную площадь обкладок.

37. Определить энергию конденсатора емкостью $C=10$ мкФ при напряжении на обкладках $U=100$ В.

38. Сколько обкладок площадью 10^{-2} м^2 надо собрать, чтобы получить конденсатор емкостью 1 мкФ, если в качестве диэлектрика применена лакоткань толщиной 0,05 мм с $\varepsilon=50$?

39. Чему равна емкость переменного конденсатора, если площадь перекрытия равна 50%; 30% при условии, что при 100%-ном перекрытии напряжение на обкладках 100 В и энергия 0,1 Дж.

40. Изобразить графики функции $W_э=f(U)$ при значениях емкости $C_1=10$ мкФ, $C_2=5$ мкФ и $C_3=15$ мкФ.

ГЛАВА II

ПОСТОЯННЫЙ ТОК

§ 4. СИЛА И ПЛОТНОСТЬ ТОКА

Под силой тока понимают количество электричества, проходящего через сечение проводника за единицу времени:

$$I = \frac{q}{t} \text{ [А]}. \tag{9}$$

Постоянным называется электрический ток, величина и направление которого не меняются от времени.

Плотность тока представляет собой отношение силы тока к площади сечения проводника, перпендикулярной вектору средней скорости движения частиц:

$$j = \frac{I}{S} \text{ [А/м}^2\text{]}. \tag{10}$$

Задачи

41. Найти связь между кулоном и применяемой на практике (для аккумуляторов и гальванических элементов) единицей заряда «ампер-час».

42. Сколько электронов участвуют в создании тока силой 2 мА в течение 0,1 с?

43. Определить скорость перемещения электронов в проводнике сечением 10 мм², в котором протекает ток 1 мА, при числе заряженных частиц в единице объема $2 \cdot 10^{22}$.

44. Вычислить площадь поперечного сечения проводника при плотности тока 1 А/мм², если ток 10 А.

45. Чему равен диаметр металлической проволоки, по которой течет ток в 2 А, а плотность тока составляет 0,2 А/мм²?

§ 5. РЕЗИСТОРЫ

Величину сопротивления металлического проводника (резистора) определяют по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S} \text{ [Ом]}, \qquad (11)$$

где ρ — удельное сопротивление проводника, Ом·м; l — длина, м; S — площадь поперечного сечения, м².

Зависимость сопротивления резисторов от температуры в рабочем интервале температур является линейной функцией:

$$R = R_0 [1 + \alpha_т (T - T_0)], \qquad (12)$$

где R_0 — сопротивление резистора при температуре T_0, Ом; $\alpha_т$ — температурный коэффициент сопротивления, 1/К.

Резисторы, предназначенные для изменения силы тока, называют реостатами (рис. 2, *а*), а для изменения величины напряжения — потенциометрами (рис. 2, *б*).

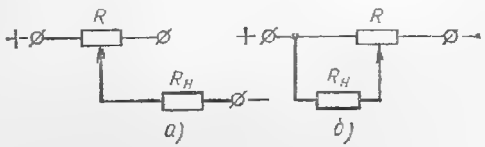


Рис. 2. Основные схемы включения переменных резисторов:
а — реостат, *б* — потенциометр

Задачи

46. Какие значения удельного сопротивления и температурного коэффициента следует выбирать у материала проводника, применяемого: а) для монтажных проводов; б) для спирали нагревательного прибора; в) для обмотки электродвигателя?

47. Как изменится сопротивление резистора: а) при увеличении его длины в 2 раза; б) при уменьшении площади поперечного сечения провода в 3 раза; в) при одновременном увеличении длины в 4 раза, а диаметра провода в 2 раза?

48. Определить диаметр медной проволоки длиной 100 м, если ее сопротивление не должно превышать 1 Ом.

49. Чему равно сопротивление 1 м медной проволоки диаметром 0,5 мм? Найти сопротивление вольфрамовой нити длиной 10 м и диаметром 0,1 мм.

50. Каково сечение стальной проволоки, если ее сопротивление 2 Ом, а длина 10^3 м?

51. Какое удельное сопротивление должен иметь материал провода диамстром 1 мм, чтобы при длине 500 м его сопротивление не превышало 20 Ом?

52. Определить диаметр керамического каркаса резистора длиной 0,1 м, на который наматывается нихромовый провод диаметром 0,1 мм, если его сопротивление 1,5 кОм.

53. При увеличении длины провода на 100 м сопротивление его возросло в 3 раза. Найти первоначальную длину провода.

54. Провод длиной 150 м имеет сопротивление 10 Ом. Найти сопротивление этого провода при длине 120 м; 75 м.

55. Определить удельное сопротивление материала провода диаметром 5 мм и длиной 100 м, если его сопротивление 1,5 Ом.

56. Сопротивление нити при $T=293$ К составляет 200 Ом. До какой температуры нагрета нить, если ее сопротивление 220 Ом, $\alpha_T=10^{-2}$ 1/К?

57. Найти температурный коэффициент сопротивления провода, если при 300 К его сопротивление составляло 100 Ом, а при 500 К было равно 200 Ом при условии, что $\alpha_T=\text{const}$ для указанного температурного диапазона.

58. Определить сопротивление медного провода при 300 К, если при 350 К оно было равно 5 Ом.

59. Чему равно сопротивление резистора при температуре среды $T=350$ К, если при $T_0=300$ К его сопротивление 10 кОм, а $\alpha_T=2\cdot10^{-3}$ 1/К.

60. Каков температурный коэффициент резистора, если при изменении температуры среды на 100 К его сопротивление изменилось на 100 Ом. Номинальная величина сопротивления 1 кОм.

61. Реостат сопротивлением от 0 до 1 кОм подключен к источнику питания $U=20$ В. Какой ток будет проходить через реостат, если: а) под напряжением все витки; б) движок посередине; в) под напряжением 80% витков; г) под напряжением 20% витков?

62. Определить напряжение на выходе потенциометра, который подключен к источнику питания $U=10$ В при сопротивлении потенциометра 0—1 кОм при следующих случаях: а) напряжение снимается со всего потенциометра;

б) напряжение снимается с половины витков потенциометра;
в) напряжение снимается с $^1/_4$ витков потенциометра.

63. Определить сопротивление раствора серной кислоты в сосуде, если площадь погруженных в него пластин $S=3\cdot10^{-3}$ м², расстояние между ними $l=0.15$ м, а удельное сопротивление раствора $\rho=1{,}5\cdot10^6$ Ом·мм²/м.

64. Сколько метров проволоки из нихрома диаметром 1 мм потребуется для изготовления реостата сопротивлением $R=10$ Ом?

65. Электрическая проводка выполнена из медного провода длиной 100 м и сечением 10 мм². Какого сечения нужно выбрать алюминиевый провод такой же длины, чтобы его сопротивление было равно сопротивлению медного?

§ 6. ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Закон Ома для участка цепи, устанавливающий связь между силой тока, протекающего через проводник, и напряжением на концах этого проводника, имеет следующий вид:

$$U=RI. \tag{13}$$

Величина, обратная сопротивлению участка цепи R [Ом], носит название электропроводности или проводимости g [См].

Энергию и мощность электрического тока можно вычислить по следующим формулам:

$$W=UIt \text{ [Дж]};$$
$$P=UI \text{ [Вт]}. \tag{14}$$

Простейшая электрическая цепь постоянного тока приведена на рис. 3. При замкнутом ключе K эту цепь можно разделить на источник электрической энергии и потребитель. Источник характеризуется внутренним сопротивлением $R_{вн}$ и величиной электродвижущей силы (э. д. с.) E, которая численно равна напряжению на полюсах источника при разомкнутой цепи, а потребитель представляет собой электрическую цепь $R_н$, подключенную к полюсам источника.

В связи с наличием внутренней цепи источника сила тока определяется по закону Ома для полной цепи:

$$I=\frac{E}{R_{вн}+R_н}, \tag{15}$$

где E — э. д. с. источника, В.

Наряду с законом Ома основными законами цепей постоянного тока являются законы Кирхгофа.

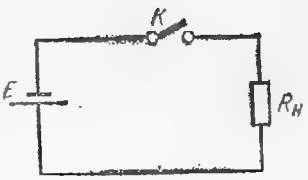


Рис. 3. Простейшая цепь постоянного тока

1-й закон Кирхгофа формулируется следующим образом: алгебраическая сумма токов в узле равна нулю, т. е.

$$\Sigma I = 0. \qquad (16)$$

2-й закон Кирхгофа формулируется так: алгебраическая сумма э. д. с. равна алгебраической сумме напряжений, т. е.

$$\Sigma E = \Sigma U. \qquad (17)$$

Задачи

66. Определить силу тока в проводнике, к которому приложено напряжение 10 В, если его сопротивление равно: а) 1 кОм; б) 20 кОм; в) 100 кОм; г) 1 МОм.

Определить сопротивление проводника, к которому было приложено напряжение 1 В, а сила тока равна: а) 0,1 А; б) 10 мА; в) 10 мкА; г) 20 мА.

67. Какое максимальное напряжение можно приложить к сопротивлению 1 кОм, если сила тока не должна превышать 0,2 А? Найти максимальное напряжение, если мощность не должна превышать 2 Вт.

68. В проводнике выделяется мощность 10 Вт при напряжении 100 В. Какая мощность будет выделяться в проводнике при напряжении 150 В?

69. При напряжении U в проводнике выделялась мощность P. Как надо изменить сопротивление проводника, чтобы его выделяемая мощность не изменилась: 1) при увеличении приложенного напряжения в 2 раза; 2) при уменьшении напряжения в 3 раза?

70. Построить графически вольт-амперную характеристику простейшей цепи (рис. 3) с источником, у которого $R_в$ —100 Ом, E—100 В, и нагрузкой $R_н$=1 кОм. Найти величины напряжений на нагрузке при токах I_1=10 мА; I_2=50 мА; I_3=80 мА.

71. Какое напряжение на зажимах источника э. д. с., подключенного к нагрузке 10 Ом, если длина медной соединительной проволоки диаметром 1 мм равна 100 м и сила тока в цепи 0,1 А?

72. Рассчитать длину нихромовой проволоки, намотанной в виде катушки, если при подключении катушки к источнику, э. д. с. которого 12 В, в ней возник ток 0,12 А. Сечение проволоки принять равным 0,55 мм².

73. Найти внутреннее сопротивление источника э. д. с., если при сопротивлении нагрузки 1 Ом сила тока 1 А, а при сопротивлении нагрузки 2,5 Ом сила тока 0,5 А.

74. При включении нагрузки разность потенциалов на полюсах источника э. д. с. стала 9 В, при этом сила тока в цепи была 1,5 А. Определить сопротивление нагрузки и внутреннее сопротивление источника, если его э. д. с. 15 В.

75. В каких пределах будет изменяться сила тока в цепи при изменении режима от короткого замыкания до холостого хода? Э. д. с. и внутреннее сопротивление источника считать постоянными.

76. Сила тока в нагрузке $R_н$=1,5 кОм не должна превышать 10 мА. Какое добавочное сопротивление надо подключить к нагрузке при использовании источника питания с E=20 В и $R_{вн} \approx 0$?

77. Определить к. п. д. простейшей цепи (рис. 3), если E=100 В; $R_{вн}$=200 Ом; $R_н$=2 кОм.

78. В простейшей цепи (рис. 3) при токе I=2 А напряжение на нагрузке составляло 10 В, а при токе I=1 А напряжение — 12 В. Найти E и $R_{вн}$ источника питания.

79. Сопротивление нагрузки $R_н$ подключено к двум параллельно работающим источникам питания. Записать в аналитическом виде выражение для тока в нагрузке, если оба источника имеют одинаковые э. д. с. E и внутреннее сопротивление $R_{вн}$.

80*. При каком соотношении внутреннего сопротивления источника э. д. с. $R_{вн}$ и сопротивления нагрузки $R_н$ в нагрузочном сопротивлении выделяется максимальная мощность? Построить график функции $P_н = f(R_н)$.

81*. Цепь нагрузки $R_н$=1 кОм подключена к источнику с E=100 В и $R_{вн}$=100 Ом. Температура среды 293 К. На какую величину изменится ток в цепи при температуре 373 К, если соединительные провода медные, и их сопротивление при T=293 К равно 50 Ом?

82. Чему должен быть равен диаметр медных соединительных проводов длиной 200 м, чтобы сила тока была не менее 0,8 А в нагрузке $R_н$=100 Ом при подключении ее к источнику питания с E=100 В и $R_{вн}$=10 Ом?

83. Определить э. д. с. и внутреннее сопротивление источника питания, если в режиме холостого хода напряжение

на зажимах 15 В, а в режиме короткого замыкания сила тока 0,5 А.

84*. При изменении сопротивления нагрузки на 100 Ом сила тока в цепи уменьшается на 10 мА. Вычислить первоначальное нагрузочное сопротивление, если оно подключено к источнику с $E=20$ В и $R_{вн}=50$ Ом.

85*. Используя законы Кирхгофа, найти токи I_1, I_2 и I_3 в схемах на рис. 4, *а* и *б*. В обеих схемах $R_{вн}=0$.

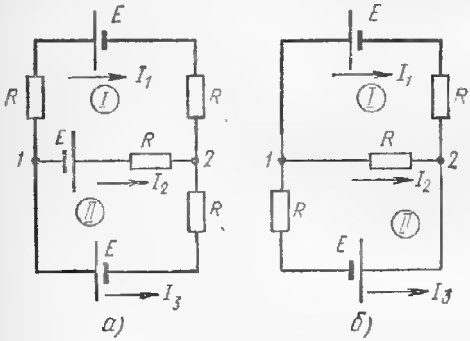


Рис. 4. К задаче 85
1 и *2* — узлы, *I* и *II* — контуры

86. Рассчитать напряжение на зажимах источника э. д. с. $E=100$ В, если внутреннее сопротивление источника в 5 раз меньше нагрузочного сопротивления.

87. По условию задачи 83 найти силу тока в нагрузочном резисторе сопротивлением 120 Ом.

88. Какая мощность расходуется в соединительных проводах, если напряжение в нагрузочном сопротивлении составляет 80 В, а сила тока в цепи 40 мА? Цепь подключена к источнику э. д. с. с $E=100$ В и внутренним сопротивлением 490 Ом.

89. При увеличении нагрузочного сопротивления от 5 до 10 кОм сила тока в цепи уменьшилась в 2 раза. Чему равны э. д. с. и внутреннее сопротивление источника, если первоначальная сила тока 10 мА.

90. Э. д. с. элемента — E, внутреннее сопротивление $R_в$. Начертить графики напряжения на зажимах источника, силы тока в цепи, мощности, выделяемой во внешнем и внутреннем участках цепи, мощности, развиваемой источником, а также его к. п. д. в зависимости от величины сопротивления внешней цепи.

§ 7. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ, ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ И СМЕШАННОЕ СОЕДИНЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

При последовательном соединении резисторов эквивалентное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений резисторов:

$$R_{экв} = R_1 + R_2 + \ldots + R_n. \qquad (18)$$

Напряжение и ток цепи определяются выражениями:

$$U_{общ} = U_1 + U_2 + \ldots + U_n; \qquad (19)$$
$$I_{общ} = I_1 = I_2 = \ldots = I_n.$$

При параллельном соединении резисторов эквивалентная проводимость цепи равна сумме проводимостей резисторов:

$$\frac{1}{R_{экв}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}. \qquad (20)$$

Напряжение и ток цепи определяются выражениями:

$$U_{общ} = U_1 = U_2 = \ldots = U_n; \qquad (21)$$
$$I_{общ} = I_1 + I_2 + \ldots + I_n.$$

На практике включение одного источника электрической энергии является недостаточным. Исходя из уравнения (15), нетрудно убедиться, что для повышения напряжения во внешней цепи необходимо увеличить э. д. с. источника, а для увеличения тока уменьшить его внутреннее сопротивление. Это достигается последовательным и параллельным включением источников питания.

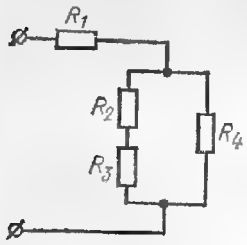


Рис. 5. К задаче 91

Задачи

91. Найти эквивалентное сопротивление цепи на рис. 5, если сопротивления резисторов одинаковы.

92*. Написать зависимость эквивалентного сопротивления цепи, состоящей из двух параллельно включенных резисторов, от величины одного из них. Чему равно $R_{экв}$ при $R_1 \to 0$ и $R_1 \to \infty$. Построить графики зависимости $R_{экв} = f(R_1)$ при $R_2 = 1$ кОм; 0,5 кОм; 2 кОм.

93. Цепь состоит из параллельного соединения двух резисторов сопротивлением 10 Ом каждый, и по одному из ре-

зисторов течет ток I=1 А. Чему будет равен этот ток при обрыве цепи другого резистора, если $R_{вн}$=1 Ом?

94. Одна цепь состоит из резисторов, соединенных последовательно, а другая — соединенных параллельно, причем количество резисторов и их величины одинаковы. В каком случае сопротивление $R_{экв}$ будет больше?

95. Какое должно быть соотношение сопротивлений двух резисторов, чтобы их эквивалентное сопротивление при последовательном соединении было в 4 раза больше эквивалентного сопротивления при параллельном соединении?

96. Доказать, что эквивалентное сопротивление двух параллельно подключенных резисторов не может быть больше сопротивления любого из них.

97*. На практике существует следующий наглядный и простой способ графического расчета сопротивления двух параллельно соединенных резисторов: к произвольному отрезку ab восстанавливаются в точках a и b перпендикуляры, длина которых соответствует в определенном масштабе сопротивлениям резисторов (рис. 6). Доказать, что эквивалентное сопротивление соответствует отрезку et.

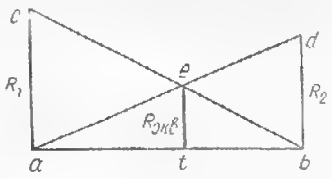


Рис. 6. К задаче 97

98. Последовательно с резистором сопротивлением 30 Ом включен реостат. В среднем положении движка реостата устанавливается ток силой 2 А. Как изменится сила тока в цепи и напряжение на резисторе при полностью выведенном и введенном реостате, если цепь подключена к источнику с э. д. с. E=100 В и внутренним сопротивлением $R_{вн}$=5 Ом.

99. Определить сопротивление резистора, который необходимо включить параллельно с резистором, имеющим сопротивление 15 кОм, при условии, чтобы эквивалентное сопротивление всей цепи составляло 10 кОм.

100*. Чему равно эквивалентное сопротивление цепи из десяти последовательно включенных резисторов, если величина каждого из них больше на 100 Ом предыдущего, а сопротивление первого резистора 1 кОм.

101. По условию предыдущей задачи найти напряжение на пятом резисторе, если напряжение питания цепи 14,5 В.

102*. Определить эквивалентное сопротивление цепи из двенадцати параллельно подключенных резисторов, если

величина каждого из них в 2 раза больше предыдущего, а сопротивление первого 1 кОм.

103. Найти по условию предыдущей задачи ток в пятой параллельной ветви, если общий ток 0,1 А.

104. В каком случае цепь из n одинаковых резисторов будет потреблять бо́льшую энергию от источника питания: при их параллельном или последовательном подключении?

105. Какое количество источников с $E=10$ В и $R_{вн}=35$ Ом необходимо для создания тока силой 0,2 А в нагрузке сопротивлением $R_н=45$ Ом? Решить задачу для последовательного и параллельного соединений источников э. д. с.

106. При каком отношении $R_{вн}$ и $R_н$ для питания нагрузки требуется одинаковое количество батарей как при их последовательном, так и при параллельном включении.

107. Определить напряжение на нагрузке при питании ее четырьмя последовательно соединенными батареями с $E=6$ В и $R_{вн}=20$ Ом, если сила тока в цепи 0,1 А.

108. Начертить монтажную схему параллельного подсоединения четырех резисторов к источнику э. д. с. (рис. 7).

109. Два одинаковых источника э. д. с. включены так, как изображено на рис. 8. Что покажет вольтметр V?

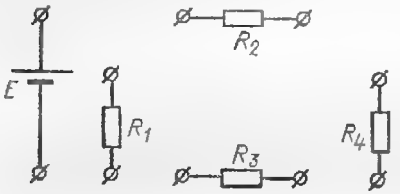


Рис. 7. К задаче 108

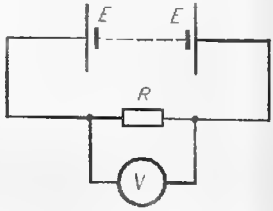


Рис. 8. К задаче 109

§ 8. ТЕПЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА

Количество тепла, выделяемое в проводнике при прохождении через него электрического тока, определяется законом Джоуля — Ленца:

$$Q = RI^2t \ \text{[Дж]}. \qquad (22)$$

Сравнивая полученное уравнение с выражением (14), полученным для работы электрического поля, можно убедиться в их идентичности. Таким образом, вся работа электрического поля переходит в тепло.

Задачи

110. Изменится ли мощность электронагревательного прибора, если часть его спирали закоротить?

111. В течение месяца нагревательный электроприбор работал 20 ч. Какова стоимость потребляемой энергии, если его сопротивление 20 Ом, напряжение сети 127 В, стоимость 1 кВт·ч энергии 4 коп.

112. Найти максимальную величину сопротивления паяльника, если при включении в сеть 220 В мощность его должна быть не менее 25 Вт.

113. Определить стоимость электроэнергии, потребляемой электропечью мощностью 1 кВт.

114. Сколько выделяется тепла проводником, имеющим сопротивление 10 Ом в течение 60 с при протекающем токе силой 1 А?

115. В проводнике выделилось тепло в $5 \cdot 10^3$ Дж в течение 10 с. Чему равен протекающий ток, если сопротивление проводника 1 кОм?

116*. Найти первоначальный ток и количество тепла, выделяемого в одну секунду проводником сопротивлением 10 Ом, если при изменении тока на 1 А количество выделяемого тепла увеличилось в 4 раза.

117. Четыре резистора включены по схеме рис. 9. В каком из резисторов выделяется наибольшее количество тепла?

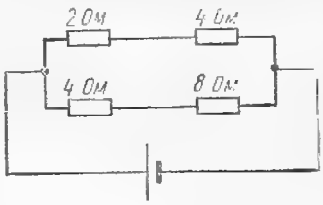


Рис. 9. К задаче 117

118. В цепь включены параллельно медная и стальная проволоки. В какой из проволок выделится большее количество тепла за одно и то же время, если они равной длины и сечения?

§ 9. ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА

Электрический ток, проходя через растворы солей, кислот, щелочей и расплавленные соли, разлагает их на составные части. Это действие носит название электролиза, а сам электрический ток в растворе представляет собой движение ионов. Электролиз описывается двумя законами Фарадея.

1-й закон Фарадея: количество выделившегося при электролизе вещества пропорционально току и времени его прохождения:

$$m = k_э I t \ \text{[кг]}, \qquad (23)$$

где $k_э$ — электрохимический эквивалент данного вещества, кг/Кл.

2-й закон Фарадея: отношение электрохимического эквивалента к его химическому эквиваленту есть величина постоянная для всех веществ:

$$\frac{k_э n_A}{m_A} = \frac{1}{N_F}, \qquad (24)$$

где n_A — валентность атомов; m_A — атомная масса; $N_F = 96\,400$ Кл/моль — универсальная постоянная Фарадея.

Задачи

119. Какое количество металлического серебра выделится из раствора его азотнокислой соли, если через него проходит ток силой 2 А в течение 30 мин?

120. За 20 мин прохождения электрического тока через ванну с раствором медного купороса на электроде выделилось 20 г меди. Найти силу тока.

121. Какой ток нужно пропустить через ванну с раствором никеля, чтобы на катоде выделилось 25 г никеля в течение 2 ч?

122. Сколько потребуется времени для никелирования предмета, опущенного в раствор соли никеля, если сила тока 1 А, а необходимая масса никелевого слоя 10 г?

123. Пластинки, которые необходимо покрыть слоем меди толщиной 1 мм, имеют конфигурации, показанные на рис. 10, *а*, *б*, *в*. Сколько времени необходимо затратить для покрытия каждой пластинки, если сила тока 10 А?

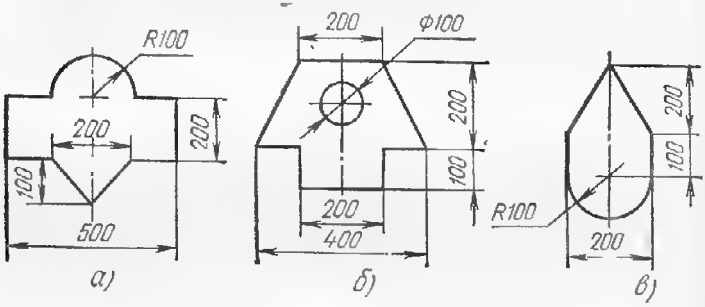


Рис. 10. К задаче 123

124. Почему при замене пластин аккумулятора во время ремонта нельзя устанавливать одновременно старые и новые пластины одной полярности?

125*. Проходящий по электролиту ток изменился во вре-

мени t по закону $I = \frac{I_0}{at+1}$. Определить закон, по которому изменяется выделяемая масса на электроде, и построить график его зависимости

$$m = f(t).$$

126*. При увеличении тока в 3 раза масса выделяемой меди из раствора электролита увеличилась на 1 г в течение 10 мин по сравнению с ранее образовавшейся в течение 20 мин. Определить протекавший ток и общую массу меди.

127. Как узнать по внешнему виду пластин кислотного аккумулятора, какая из них положительная, а какая отрицательная?

128. Достаточно ли иметь общий сосуд при изготовлении батареи параллельно соединенных гальванических элементов?

129. Аккумуляторная батарея состоит из пяти одинаковых параллельно соединенных элементов. Во сколько раз сила тока короткого замыкания всей батареи больше силы тока короткого замыкания одного элемента? Изменится ли ток короткого замыкания при последовательном соединении элементов?

ГЛАВА III

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

§ 10. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

На проводник с током, расположенный перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, действует сила

$$F = BIl \text{ [Н]}, \tag{25}$$

где B — магнитная индукция, Т; l — длина проводника, м.

Магнитный поток определяется величинами магнитной индукции и поперечного сечения проводящей данный магнитный поток среды:

$$\Phi = BS \text{ [Вб]}, \tag{26}$$

где S — площадь поперечного сечения, м^2.

Напряженность магнитного поля H [А/м] характеризует величину и направление силы, действующей в данной точке поля на единичный магнитный полюс.

Для магнитного поля в вакууме справедливы следующие соотношения:

$$B = \mu_0 H \text{ или } \mu_0 = \frac{B}{H}, \tag{27}$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [Г/м] — магнитная проницаемость вакуума или магнитная постоянная.

Отношение магнитной индукции в различных веществах к напряженности магнитного поля называется абсолютной магнитной проницаемостью этих веществ μ_a [Г/м]. Отношение абсолютной магнитной проницаемости вещества к маг-

нитной постоянной называется относительной магнитной проницаемостью вещества μ. Таким образом:

$$\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0}. \qquad (28)$$

Абсолютная магнитная проницаемость ферромагнитных материалов не является постоянной величиной, поэтому для определения B при заданной величине H пользуются кривыми намагничивания (приложение 4).

Задачи

130. С какой силой будет действовать магнитное поле на находящийся в воздухе проводник длиной 10 м, по которому течет ток силой 200 А, если напряженность поля 800 А/м[1]?

131. Какова абсолютная магнитная проницаемость ферромагнетика, если магнитная индукция в нем 0,5 Т при напряженности магнитного поля 2250 А/м?

132. По условиям задачи 131 рассчитать относительную магнитную проницаемость ферромагнетика.

133. На проводник с током длиной 2 м, помещенный в магнитное поле с индукцией 0,15 Т, действует сила 3 Н. Определить силу тока в проводнике.

134. Найти величину индукции магнитного поля, если на находящийся в нем проводник длиной 1 м, имеющий сопротивление 10 Ом, при подключении его к источнику с $E = 50$ В и $R_{вн} \simeq 0$ действует сила 0,5 Н.

135. Какова длина проводника, помещенного в магнитное поле, если B—0,1 Т, площадь поперечного сечения проводника 2 мм², плотность тока в проводнике 10 А/мм², а на проводник действует сила 0,5 Н?

136. Определить магнитный поток в сердечнике, площадь поперечного сечения которого $2 \cdot 10^{-1}$ м², а магнитная индукция 0,8 Т.

137. Напряженность магнитного поля в сердечнике из электротехнической стали 2000 А/м. Какова площадь попе-

---

[1] Везде в этом параграфе при определении силы, действующей на проводник с током, считать, что проводник расположен перпендикулярно силовым линиям магнитного поля.

речного сечения сердечника, если он проводит магнитный поток $2 \cdot 10^{-5}$ Вб. (Указание: использовать кривую намагничивания, приведенную в приложении 4.)

138. При внесении в магнитное поле ферромагнитного бруска магнитная индукция в нем оказалась в 500 раз больше, чем магнитная индукция, создаваемая полем той же напряженности в воздухе. Чему равна абсолютная магнитная проницаемость материала бруска?

§ 11. МАГНИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА. НАМАГНИЧИВАНИЕ ТЕЛ ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

Напряженность магнитного поля вокруг длинного прямого проводника при прохождении по нему тока I равна:

$$H = \frac{I}{2\pi l_a}, \tag{29}$$

где l_a — расстояние от оси проводника до точки пространства, в которой отыскивается напряженность магнитного поля, м.

Сила F_{12}, действующая на проводник с током I_1, проходящим параллельно другому проводнику с током I_2, определяется так:

$$F_{12} = B_2 I_1 l \ [\text{Н}], \tag{30}$$

где B_2 — индукция магнитного поля, создаваемого током второго проводника в точке пространства, в которой находится первый проводник; l — длина параллельных проводов, м.

Сила F_{21}, действующая на второй проводник, равна силе F_{12}, действующей на первый проводник, и может быть выражена следующим образом:

$$F_{12} = F_{21} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi l_a}, \tag{31}$$

где l_a — расстояние между осями проводников, м.

Проводники притягиваются, если токи в них проходят в одном направлении, и отталкиваются, если токи в них проходят в разных направлениях.

При протекании тока I по обмотке, имеющей w витков, ею развивается намагничивающая сила Iw.

Напряженность магнитного поля, создаваемого электромагнитом, можно определить по формуле:

$$H = \frac{Iw}{l_{ср}}, \tag{32}$$

где $l_{ср}$ — длина средней силовой линии магнитного поля, м.

Закон Ома для однородной магнитной цепи имеет вид:

$$\Phi = \frac{Iw}{R_м}, \tag{33}$$

где $R_м$ — магнитное сопротивление цепи, 1/Г.

$$R_м = \frac{l}{\mu_a S}, \tag{34}$$

где l — длина магнитопровода, м; S — площадь сечения магнитопровода, м².

Закон Ома можно записать в другом виде:

$$Hl = Iw. \tag{35}$$

В общем случае для неразветвленной цепи, состоящей из нескольких участков, отличающихся сечением магнитопровода, его материалом (в том числе при наличии воздушного зазора), закон полного тока имеет вид:

$$Iw = H_1l_1 + H_2l_2 + H_3l_3 + \ldots + H_nl_n, \tag{36}$$

где l_1, l_2, l_3, ..., l_n — длины отдельных участков магнитной цепи, м; H_1, H_2, H_3, ..., H_n — магнитная напряженность этих участков, А/м.

Силу притяжения F, развиваемую электромагнитом, можно вычислить по следующей приближенной формуле:

$$F = 4 \cdot 10^5 B^2 S, \tag{37}$$

где B — магнитная индукция, Т; S — площадь поперечного сечения полюсов, м².

Задачи

139. Определить напряженность магнитного поля в воздухе на расстоянии 0,5 м от проводника с током силой 10 А.

140. По условиям предыдущей задачи вычислить величину магнитной индукции в той же точке.

141. На расстоянии 20 м от проводника с током величина магнитной индукции в воздухе равна $2 \cdot 10^{-7}$ Т. Найти величину тока в проводнике.

142. По двум параллельным шинам протекает ток силой до 1000 А от генератора к нагрузке. На каком расстоянии друг от друга нужно разместить шины, чтобы действующие на них силы не превышали 10 Н, если длина каждой шины 20 м?

143. Какое разрывающее усилие действует на каждый метр свинцовой оболочки двужильного кабеля, если по его жилам, находящимся на расстоянии l_a=10 мм друг от друга, протекает ток силой 200 А (магнитную проницаемость изоляции между проводами считать равной μ_0)?

144. Какой максимальный ток можно пропустить по каждому из двух проводов в лаковой изоляции, проложенных вплотную друг к другу (токи в проводах равны и одинаково направлены), если толщина лаковой изоляции 0,01 мм, а на каждом метре длины проводников сила давления между ними не должна превышать 150 Н? μ=1.

145. Определить напряженность магнитного поля, создаваемого катушкой, имеющей 100 витков, если по ней течет ток силой 15 А, а длина средней силовой линии магнитного поля 2 м.

146. К обмотке катушки, имеющей 1000 витков, приложено постоянное напряжение 27 В. Какова намагничивающая сила катушки, если ее сопротивление 20 Ом?

147. Какая плотность тока в проводе катушки, имеющей 50 витков, если создаваемая ею намагничивающая сила 150 А, а площадь сечения провода катушки 3 мм²?

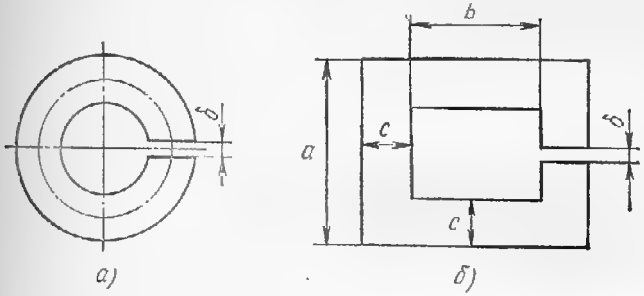
148. Какова магнитная индукция в кольцевом сердечнике из электротехнической стали, если намотанная на этот сердечник обмотка имеет 250 витков, по ней течет ток силой 1 А, а средний диаметр сердечника 0,1 м. (Указание: воспользоваться кривыми намагничивания, приведенными в приложении 4.)

149. Решить предыдущую задачу, если сердечник выполнен: а) из чугуна; б) литой стали.

150. Какой ток протекает по обмотке электромагнита, если она имеет 500 витков, длина средней силовой линии 2 м, площадь поперечного сечения сердечника 0,25 м², а магнитный поток в сердечнике 0,45 Вб? Материал сердечника — электротехническая сталь (см. приложение 4).

151. Площадь поперечного сечения магнитопровода 0,02 м², длина 0.05 м, относительная магнитная проницаемость 2000. Определить магнитное сопротивление магнитопровода.

152. Тороидальный магнитопровод с длиной средней окружности 0,3 м и поперечным сечением 0,001 м² имеет зазор длиной 1 мм. Какое количество витков обмотки намотано на этот магнитопровод (рис. 11, *а*), если по ней протекает ток силой 10 А, магнитный поток в магнитопроводе $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ Вб, а абсолютная магнитная проницаемость материала магнитопровода $\mu_a = 10^{-4}$ Г/м.



а) *б)*

Рис. 11. *а* — к задаче 152; *б* — к задаче 153

153*. Найти напряженность в зазоре прямоугольного магнитопровода из электротехнической стали (рис. 11, *б*), размеры которого $a = 0{,}11$ м, $b = 0{,}06$ м, $c = 0{,}01$ м, $\delta = 2$ мм, если напряженность магнитного поля в сердечнике $2 \cdot 10^3$ А/м, а намагничивающая сила, создаваемая обмоткой, $Iw = 3{,}32 \cdot 10^3$ А.

154. По условиям предыдущей задачи рассчитать величину магнитного потока в магнитопроводе, если площадь его поперечного сечения $S = 10^{-4}$ м².

155. Какой магнитный поток будет протекать по замкнутому магнитопроводу, если намагничивающая сила обмотки 500 А, а магнитное сопротивление магнитопровода $2{,}5 \times \times 10^3$ 1/Г?

156. Как изменится магнитный поток ферромагнитного магнитопровода, если, не изменяя намагничивающей силы, пропилить в нем воздушный зазор?

157*. Три параллельных проводника расположены в вершинах равностороннего треугольника, причем расстояние между осями проводников составляет 0,2 м. Токи в проводниках одинаково направлены и соответственно равны: $I_1 = 50$ А, $I_2 = I_3 = 20$ А. Определить силу, действующую на каждый проводник, если проводники имеют одинаковую длину, равную 1 м, а $\mu = 1$.

158. Какую силу развовьет подковообразный электромагнит, если площадь поперечного сечения обоих полюсов 0,012 м², а магнитная индукция 0,5 Т?

159. Как будет изменяться усилие, создаваемое электромагнитом, при уменьшении зазора между его полюсами и притягиваемым ферромагнитным бруском (якорем электромагнита или поднимаемым грузом)?

160. При зазоре между якорем и полюсами электромагнита $l_{з1}$=10 мм сила притяжения 10 Н. Какая будет сила притяжения при зазоре $l_{з2}$=1 мм, если ток электромагнита оставить без изменения? Магнитным сопротивлением якоря и магнитопровода пренебречь.

161. По условиям задачи 152 определить усилие, стремящееся уменьшить зазор тороидального сердечника.

162. Как отличаются магнитные характеристики сталей, применяемых для изготовления: а) постоянных магнитов; б) электромагнитов?

163. Почему выполненные из ферромагнитных материалов постоянные магниты размагничиваются при сильных ударах или при сильном нагревании?

164. Чем отличаются кривые намагничивания холоднокатаной и горячекатаной стали в слабых магнитных полях?

§ 12. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. Э.Д.С. САМОИНДУКЦИИ. ИНДУКТИВНОСТЬ

В магнитном поле при движении проводника возникает э. д. с. индукции

$$E = Blv \sin \alpha, \tag{38}$$

где E — э. д. с. индукции, В; B — магнитная индукция, Т; v — скорость движения проводника, м/с; α — угол между направлением магнитных силовых линий поля и направлением движения проводника.

Если проводник движется перпендикулярно направлению магнитных силовых линий, то предыдущая формула имеет вид:

$$E = Blv. \tag{39}$$

Направление наведенной э. д. с. определяется по правилу правой руки.

Э. д. с. индукции возникает в неподвижной обмотке, если изменяется магнитное поле, в которое она помещена. Наведенная э. д. с. в данном случае равна скорости измене-

ния потокосцепления Ψ (предполагается, что потокосцепление изменяется равномерно):

$$E = -\frac{\Delta\Psi}{\Delta t},\ \Psi = \Phi w,\ \text{т. е. } E = -w\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \qquad (40)$$

где $\Delta\Phi$ — изменение магнитного потока, Вб; Δt — отрезок времени, за который произошло изменение магнитного потока, с; w — число витков катушки.

Э. д. с. в одном витке катушки, а также в одиночном проводнике, помещенном в изменяющееся магнитное поле, будет равна скорости изменения магнитного потока:

$$E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \qquad (41)$$

Если по обмотке протекает изменяющийся ток, то вокруг обмотки создастся изменяющееся магнитное поле, что, в свою очередь, приводит к появлению в обмотке э. д. с., которая в данном случае называется э. д. с. самоиндукции. Величина э. д. с. самоиндукции зависит от скорости изменения тока в обмотке и индуктивности обмотки:

$$E_L = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}\ [\text{В}], \qquad (42)$$

где L — индуктивность обмотки, Г; ΔI — изменение тока в обмотке, А; Δt — отрезок времени, за который изменился ток в обмотке, с.

Индуктивность обмотки может быть вычислена по формуле

$$L = \frac{\Phi w}{I}, \qquad (43)$$

где Φ — магнитный поток, создаваемый обмоткой с w витками, по которой протекает ток I, Вб.

Если две обмотки расположены так, что магнитный поток первой обмотки (или его часть) пронизывает вторую обмотку, то при изменении тока в первой обмотке во второй будет наводиться э. д. с., называемая э. д. с. взаимоиндукции $E_{\text{взг}}$:

$$E_{\text{взг}} = -L_{\text{м}}\frac{\Delta I_1}{\Delta t}\ [\text{В}], \qquad (44)$$

где ΔI_1 — приращение тока в первой обмотке за время Δt; $L_{\text{м}}$ — взаимная индуктивность, Г.

Взаимная индуктивность $L_{\text{м}}$ зависит от индуктивностей первой и второй обмоток L_1 и L_2 и коэффициента связи $k_{\text{св}}$

между катушками, показывающего, какая часть магнитного потока одной катушки пронизывает витки другой катушки:

$$L_м = k_{св}\sqrt{L_1 L_2}. \qquad (45)$$

Эквивалентная индуктивность $L_{экв}$ двух последовательно соединенных обмоток, между которыми имеется индуктивная связь, равна:

$$L_{экв} = L_1 + L_2 \pm 2L_м. \qquad (46)$$

В этой формуле знак «+» ставится тогда, когда токи в обмотках направлены одинаково относительно начала обмоток; при противоположном направлении токов необходимо ставить знак «—».

Силу, действующую на проводник в магнитном поле, можно определить из выражения для баланса мощностей:

$$Fv = UI + I^2R, \qquad (47)$$

где Fv — общая механическая мощность, Вт; UI — полезная электрическая мощность, отдаваемая в нагрузку, Вт; I^2R — мощность, идущая на нагревание проводника, Вт.

Задачи

165. Проводник длиной 1,5 м движется равномерно со скоростью 3 м/с в однородном магнитном поле перпендикулярно магнитным силовым линиям. Величина магнитной индукции поля 0,2 Т. Вычислить э. д. с., возникающую на концах проводника.

166. Определить напряженность магнитного поля в воздухе, если при движении проводника длиной 10 м перпендикулярно силовым линиям поля со скоростью 20 м/с возникает э. д. с. 15 В.

167. Какова длина проводника, если при движении его в магнитном поле с индукцией 1 Т со скоростью 100 м/с возникает э. д. с. 12 В, а угол между направлением движения проводника и силовыми линиями поля равен 30°?

168. Самолет с размахом крыльев 20 м летит горизонтально со скоростью 1800 км/ч. Определить вертикальную составляющую индукции магнитного поля земли, если между концами крыльев возникает разность потенциалов 0,5 В.

169. При движении проводника длиной l в однородном магнитном поле с индукцией B_1 со скоростью 5 м/с на его концах возникла разность потенциалов 0,3 В. На концах

того же проводника при движении в однородном магнитном поле с индукцией B_2=1 Т со скоростью 10 м/с разность потенциалов 0,5 В. Направление движения относительно силовых линий магнитного поля в обоих случаях одинаковое. Определить магнитную индукцию поля B_1.

170. С какой скоростью нужно удалить проводник из межполюсного пространства подковообразного магнита для того, чтобы на концах проводника появилась разность потенциалов 10 В? Активная длина проводника 1 м, угол $\alpha = 90^\circ$, магнитная индукция в межполюсном пространстве 0,25 Т.

171. Обмотка, имеющая 50 витков, пронизывается изменяющимся магнитным полем. Какова скорость изменения магнитного потока, если в катушке возникает э. д. с. 100 В?

172. На концах обмотки из 40 витков в течение 10 с поддерживается постоянная разность потенциалов U=5 В. Определить приращение магнитного потока за это время.

173. Между полюсами электромагнита расположен короткозамкнутый кольцевой виток площадью 0,025 м² и сопротивлением 0,1 Ом. Какой ток потечет по короткозамкнутому витку при включении электромагнита, если время нарастания индукции до значения 0,5 Т составляет 0,01 с, виток находится в магнитном поле и его плоскость перпендикулярна магнитным силовым линиям?

174. Какой характер тока будет в цепи обмотки, замкнутой на некоторое сопротивление нагрузки, если эту обмотку пронизывает изменяющийся с постоянной скоростью магнитный поток?

175. Как определить, где у намагниченного стержня северный и южный полюсы, если его можно пропустить сквозь обмотку?

176. Определить э. д. с. самоиндукции в обмотке, если ее индуктивность 5 мГ, а ток в обмотке равномерно возрастает со скоростью $2 \cdot 10^{-3}$ А/с.

177. Изобразить графически характер изменения тока в обмотке, имеющей индуктивность L, если: а) э. д. с. самоиндукции постоянна и равна E; б) э. д. с. самоиндукции увеличивается во времени от значения E; в) э. д. с. самоиндукции уменьшается во времени от значения E.

178. Доказать, что зависимость индуктивности обмотки от числа витков носит квадратичный характер.

179. Какого значения достигнет магнитный поток, пронизывающий обмотку, если к ее концам в течение $2 \cdot 10^{-3}$ с приложили напряжение 100 В? Число витков обмотки 50,

сопротивление обмотки $R=0$, и поэтому приложенное напряжение уравнивается э. д. с. самоиндукции, т. е. в данном случае $U=E=100$ В.

180. Используя условия задачи 179, определить значение индукции в магнитопроводе, на который намотана обмотка, если площадь поперечного сечения его $2\cdot10^{-2}$ м^2.

181. Сколько витков должна содержать обмотка, намотанная на магнитопровод, если постоянное напряжение 50 В, приложенное к ней в течение 0,1 с, вызывает приращение индукции в магнитопроводе не более 0,1 Т? Площадь поперечного сечения магнитопровода 0,01 м^2; сопротивлением катушки пренебречь.

182. Какова индуктивность обмотки, имеющей 1000 витков, если ток силой 0,01 А создает в ней магнитный поток $\Phi=5\cdot10^{-7}$ Вб?

183. Индуктивность одной обмотки $L_1=0{,}2$ Г, индуктивность второй обмотки $L_2=0{,}8$ Г, коэффициент связи между обмотками $k_{св}=0{,}5$. Определить индуктивность последовательно включенных обмоток при одинаковом и противоположном направлениях в них токов.

184. Чему равен коэффициент связи между двумя обмотками, если их индуктивности $L_1=4\cdot10^{-2}$ Г и $L_2=10^{-2}$ Г, а взаимная индуктивность $L_м=5$ мГ.

185. Каков коэффициент связи между обмотками индуктивностью $L_1=2$ мГ и $L_2=12{,}5$ мГ, если при их последовательном включении и одинаковом направлении токов эквивалентная индуктивность 17 мГ?

186. Коэффициент связи между обмотками $k_{св}=0{,}8$, индуктивность одной обмотки 0,5 Г. Какова индуктивность второй обмотки, если взаимная индуктивность $L_м=0{,}1$ Г?

187. Вычислить взаимную индуктивность двух обмоток по 100 витков каждая, если при равномерном изменении тока в одной обмотке на 2 А в течение 0,1 с в каждом витке второй обмотки индуцируется э. д. с. 0,03 В?

188. Что опаснее для катушки при большом постоянном токе в ней: короткое замыкание зажимов катушки или разрыв цепи?

189. В резисторе, подключенном к проводнику сопротивлением 0,1 Ом, движущемуся в магнитном поле, протекает ток силой 0,2 А. Определить индуцируемую э. д. с., если сопротивление резистора 10 Ом.

190. Какая сила действует на проводник, если при движении его в магнитном поле со скоростью 20 м/с во внешней нагрузке сопротивлением 150 Ом протекает ток 0,3 А? Сопро-

тивлением проводника и соединительных проводов пренебречь.

191. По условиям предыдущей задачи определить индукцию равномерного магнитного поля, в котором движется проводник длиной 2 м перпендикулярно направлению силовых линий.

192. Через межполюсное пространство магнита падает замкнутое ферромагнитное кольцо. Будет ли оно при этом двигаться с ускорением силы тяжести?

193. Проводник длиной 0,5 м и сопротивлением 20 Ом подключен к источнику с $R_{вн} \simeq 0$; $E = 5$ В. Первоначально проводник был неподвижен, а через некоторое время приобрел скорость 30 м/с. Во сколько раз уменьшится ток за такое же время, если величина индукции магнитного поля 0,1 Т?

194. Какова мощность потерь в проводнике, движущемся в магнитном поле, если к нему приложено внешнее напряжение 10 В? Сопротивление проводника 5 Ом, а противо-э. д. с. 8 В.

ГЛАВА IV

ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК

§ 13. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ

Переменный ток и переменное напряжение изменяются по следующим законам:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i);$$
$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u), \qquad (48)$$

где i и u — мгновенные значения тока и напряжения в любой момент времени; I_m и U_m — максимальные (амплитудные) значения тока и напряжения; T — период синусоидальной функции; ψ_i и ψ_u - начальные фазы тока и напряжения; ω — угловая частота, рад/с.

В технике существует также понятие частоты f[Гц], представляющей собой число периодов переменного тока или напряжения в 1 с:

$$f = \frac{1}{T}. \qquad (49)$$

Между угловой частотой и частотой f существует такая зависимость:

$$\omega = 2\pi f. \qquad (50)$$

Для изображения переменного тока при экспериментальных исследованиях чаще используют временную ось ординат (рис. 12, *а*), при расчетах — безразмерную (рис. 12, *б*).

Переменную синусоидальную величину удобно изображать в виде вектора, длина которого в выбранном масштабе равна амплитудному значению, а направление соответствует

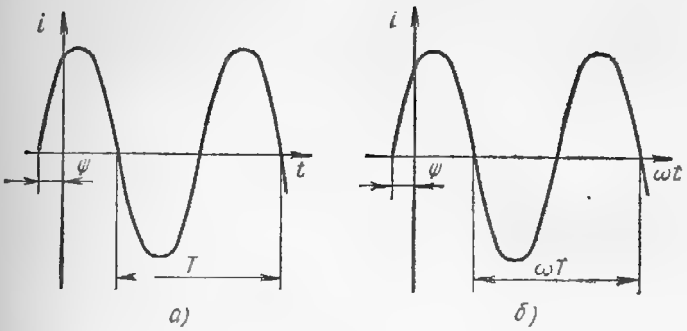


Рис. 12. Изображение переменного тока:
а — в единицах времени, *б* — в радианах

начальной фазе. Совокупность нескольких векторов, изображающих синусоидальные величины одной частоты, называется векторной диаграммой.

Задачи

195. Почему лампа накаливания, включенная в промышленную сеть переменного тока, горит ровным светом, не мигая?

196. На определенных скоростях оборотов шпинделя фрезерного станка, освещаемого обычной лампой накаливания, его вращение становится незаметным. Объяснить это явление.

197. Построить графики переменного тока частотой 50 Гц при I_m=0,1 А; 0,3 А; 0,5 А.

198. Построить графики переменного тока с I_m—0.5 А при f_1=50 Гц; f_2=25 Гц; f_3=100 Гц.

199. Определить период колебания переменного тока, если угловая частота 300 рад/с.

200. Чему равна начальная фаза переменного тока, если в первый момент времени мгновенное значение составляет 0,1 А, а максимальное его значение 0,8 А.

201. Определить максимальную величину переменного тока, если в первый момент времени ток был 0,4 А, а начальная фаза 30°.

202*. Построить график переменного тока, который представляет собой сумму двух синусоидальных токов:

$$i_1 = 0{,}3 \sin 300\ t \text{ [A]};$$

$$i_2 = 0{,}1 \sin \left(300t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ [A]}.$$

203*. Построить график переменного тока, представляющего собой сумму двух одинаковых синусоидальных токов с $I_m = 0{,}5$ А и $f = 50$ Гц, но с разностью начальных фаз в 60°.

204*. В моменты времени $t_1 = 0{,}1$ с и $t_2 = 0{,}2$ с мгновенные величины тока были равны между собой. Найти наименьшую частоту переменного тока.

205. Напряжение в сети переменного тока изменяется по закону $u = 635 \sin \left(314t + \frac{2\pi}{3}\right)$ [В]. Вычислить амплитудное значение напряжения и период его колебаний.

206. Даны законы изменения напряжений:

$$u_1 = 534 \sin 314t \text{ [В]};$$

$$u_2 = 534 \sin \left(314t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ [В]};$$

$$u_3 = 534 \sin \left(314t - \frac{\pi}{2}\right) \text{ [В]}.$$

Построить графики их зависимости от времени (в одной системе координат) и найти сумму этих напряжений.

207. Частота переменного тока 200 Гц. Чему равен промежуток времени между соседними амплитудами тока?

208. Угловая частота переменного тока 314 рад/с. Найти частоту переменного тока.

209. Построить в масштабе векторы, соответствующие следующим функциям: а) $i = 2 \sin 314\ t$ [А]; б) $i = \sin(314\ t + 60°)$ [А]; в) $i = 0{,}5 \sin(314\ t - 30°)$ [А]; г) $i = 1{,}5 \sin(314\ t + 45°)$ [А] в моменты времени $t_1 = 0$; $t_2 = \frac{1}{4} T$ и $t_3 = \frac{3}{4} T$.

210. Аналитические выражения для мгновенных значений токов, протекающих по проводнику, имеют вид: $i_1 = I_m \sin(\omega t - \psi_1)$; $i_2 = I_m \sin(\omega t + \psi_2)$. В какой зависимости должны находиться между собой фазы ψ_1 и ψ_2, чтобы ток в этом проводнике был равен нулю?

211. Синусоидально изменяющиеся напряжения представлены следующими уравнениями:

$$u_1 = 100 \sin (628t + 30°) \text{ [В]};$$
$$u_2 = 200 \sin (628t + 60°) \text{ [В]}.$$

Найти при помощи векторной диаграммы напряжения, соответствующие сумме и разности заданных мгновенных величин напряжений.

212. На рис. 13 заданы в масштабе 0,1 А/мм векторы токов различных цепей. Записать уравнения для мгновенных значений токов, если частота для всех составляющих одинакова и равна f=100 Гц.

213. Используя условия предыдущей задачи, найти мгновенное значение тока, соответствующее сумме всех составляющих.

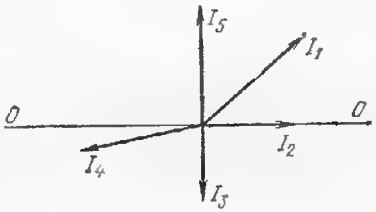


Рис. 13. К задаче 212

§ 14. ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Действующее значение переменного тока связано с амплитудным следующей зависимостью:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0{,}707 I_m. \qquad (51)$$

На рис. 14 приведены простейшие цепи переменного тока с резистором (рис. 14, *а*), конденсатором (рис. 14, *б*) и катушкой индуктивности (рис. 14, *в*) в качестве нагрузок.

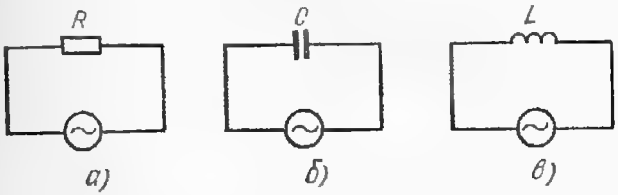


Рис. 14. Простейшие цепи переменного тока:
а — с активной нагрузкой, *б* — с емкостной нагрузкой, *в* — с индуктивной нагрузкой

Резистором может быть любое устройство, в котором электрическая энергия превращается в тепловую. Сопротивление такого устройства носит название активного, а действующее значение тока в этой цепи определяется по закону Ома:

$$I = \frac{U}{R}. \qquad (52)$$

Конденсатор в цепи переменного тока имеет сопротивление, обратно пропорциональное величинам емкости и частоты переменного тока, т. е. емкостное сопротивление

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \text{ [Ом]}. \qquad (53)$$

Закон Ома для этой цепи определяется выражением

$$I = \frac{U}{X_C}. \qquad (54)$$

Энергия источника питания в конденсаторе не расходуется, а идет на создание электрического поля между пластинами при заряде конденсатора и возвращается обратно в источник при его разряде. Поэтому для переменного тока конденсатор представляет реактивное сопротивление. Ток в конденсаторе опережает напряжение на 90°.

Катушка индуктивности в цепи переменного тока имеет сопротивление, прямо пропорциональное величине индуктивности и частоте переменного тока, т. е. индуктивное сопротивление

$$X_L = \omega L \text{ [Ом]}. \qquad (55)$$

Закон Ома для этой цепи имеет вид:

$$I = \frac{U}{X_L}. \qquad (56)$$

Индуктивное сопротивление является реактивным, так как энергия источника в этом случае затрачивается на создание электромагнитного потока при увеличении тока в катушке и возвращается источнику при уменьшении тока. Ток в индуктивности отстает от напряжения на 90°.

Для более сложных цепей переменного тока законы Кирхгофа справедливы, но уже в векторной форме:

$$\Sigma \dot{I} = 0; \qquad (57)$$

$$\Sigma \dot{E} = \Sigma \dot{U}.$$

При последовательном соединении индуктивного X_L и емкостного X_C сопротивлений (рис. 15, *а*) в случае резонанса напряжений, т. е. когда $X_L = X_C$, сопротивление цепи равно R, а напряжение на участке LC равно нулю. В этом случае величина $U_L = U_C$ может быть много больше напряжения питания.

При параллельном соединении индуктивного X_L и емкостного X_C сопротивлений (рис. 15, *б*) сопротивление

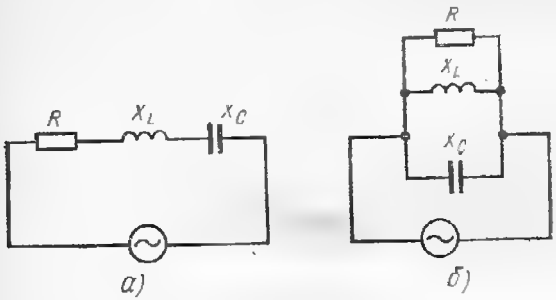


Рис. 15. Резонансные цепи переменного тока:

а — цепь с последовательным соединением реактивных элементов, *б* — цепь с параллельным соединением реактивных элементов. К задачам 242, 246, 260, 298

участка LC соответствует разрыву цепи, и ток в цепи обусловлен активной проводимостью g. В этом контуре возникает резонанс токов при условии

$$\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_C}. \qquad (58)$$

Из выражения (58) получаем следующую зависимость:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \qquad (59)$$

Это уравнение определяет частоту переменного тока, при которой возникает резонанс в цепи.

Мощность в цепях переменного тока представлена следующими формулами:

$$\begin{aligned} S &= UI; \\ P &= UI\cos\varphi; \\ Q &= UI\sin\varphi, \end{aligned} \qquad (60)$$

где S — полная мощность, ВА; P — активная мощность, Вт; Q — реактивная мощность, вар; φ — фазовый сдвиг (разность начальных фаз напряжения и тока).

Задачи

214. Используя условия задачи 211, найти действующие значения напряжений для обоих уравнений.

215*. Доказать, что действующее значение переменного тока графически равно катету равнобедренного прямоугольного треугольника, гипотенуза которого равна амплитудному значению.

216. Ток и напряжение можно записать в виде следующих аналитических зависимостей:

$$i = 14{,}2 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ [А]};$$

$$u = 169 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ [В]}.$$

Определить показания амперметра и вольтметра, включенных в цепь, а также ее сопротивление.

217. По рис. 16 найти действующие значения напряжений и фазовый сдвиг между ними.

218. Металлический термометр сопротивлением $R_{T1}=10$ кОм при $T_1=293$ К включен в сеть напряжением $U_{пит}=\sim 220$ В. Чему равна температура среды, при которой ток в цепи $I=17$ мА, если $\alpha_T=10^{-2}$ 1/К.

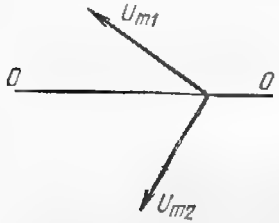


Рис. 16. К задаче 217. $U_{m1}=282$ В; $U_{m2}=634$ В

219. Найти мгновенное значение тока в цепи с резистором $R_н=1$ кОм, который подключен к источнику переменного напряжения частотой 50 Гц и действующим значением напряжения $U=6$ В, если $\psi_u=-45°$.

220. Напряжение на шинах электростанции 6600 В. Потребитель находится на расстоянии 10 км. Какое должно быть сечение медного провода для устройства двухпроводной линии передачи, если сила тока в линии 20 А, а потери напряжения в проводах не должны превышать 3%?

221. Рассчитать сопротивление конденсатора емкостью 5 мкФ при частоте переменного тока 50 Гц.

222. Определить максимальную величину емкости конденсатора, чтобы его сопротивление при частоте 4000 Гц было не менее 1 кОм.

223. Найти частоту переменного тока, при которой конденсатор емкостью 1 мкФ имеет сопротивление 1 кОм.

224. В схемах (см. рис. 15, *а*, *б*) емкость может изменяться, а остальные параметры неизменны. Определить в аналитическом виде: а) емкость, при которой активная мощ-

ность будет максимальна; б) активную мощность, если задана величина напряжения резистора U_m.

225. Каково мгновенное значение тока в цепи с конденсатором $C=1$ мкФ, который подключен к источнику переменного напряжения частотой 100 Гц и действующим напряжением 220 В?

226. Как изменится ток в цепи с конденсатором при: а) увеличении частоты в 2 раза; б) уменьшении емкости в 3 раза; в) одновременном увеличении напряжения в 2 раза и уменьшении частоты в 2 раза?

227. В каком случае ток в катушке индуктивности будет больше — при подключении к источнику постоянного тока или к источнику переменного тока, если напряжения на зажимах катушки одинаковые?

228. Сила тока в цепи с катушкой индуктивности выражается как $i=10{,}8\sin 314t$ [А]. Определить активную мощность и действующее значение тока в цепи, если активное сопротивление катушки 1,8 Ом, а индуктивность 0,1 Г.

229. Найти мгновенное и действующее значения тока в цепи с катушкой индуктивности 1 мГ, которая подключена к источнику напряжения частотой 400 Гц и действующим значением напряжения 12 В. Активным сопротивлением катушки пренебречь.

230. Определить индуктивное сопротивление катушки с индуктивностью 1 мГ при частоте переменного тока 500 Гц.

231. Чему должна быть равна индуктивность катушки, чтобы при частоте 50 кГц ее сопротивление было 0,1 кОм?

232. Как изменится ток в цепи с индуктивностью при: а) уменьшении частоты в 4 раза; б) увеличении индуктивности в 2 раза?

233. Катушка с индуктивностью 1 мГ и активным сопротивлением 0,5 Ом включена в цепь переменного тока. Найти частоту, при которой активным сопротивлением катушки можно пренебречь с точностью до 10%.

234. Как изменится реактивное сопротивление катушки индуктивности при введении в нее стержня, изготовленного из следующих материалов: а) электротехнического железа; б) алюминия; в) меди.

235. Почему при измерении больших индуктивных сопротивлений (например, обмоток трансформаторов, роторов электрических машин) необходимо прежде отключить измерительный амперметр, а затем разомкнуть цепь питания?

236. К простейшим цепям переменного тока (рис. 14) приложено напряжение $u=10\sin(314\ t-45°)$[В].

Записать выражения для мгновенных значений токов для каждого случая и определить их действующие значения, если $R=1$ кОм, $L=0{,}1$ Г и $C=10$ мкФ.

237. К простейшим цепям переменного тока (см. рис. 14) приложено напряжение $u=40\sin(628\,t\quad 30^\circ)$[В].

Найти величины R, L, C, если в каждой цепи протекает ток с амплитудным значением 0,1 А.

238. Какие элементы содержит цепь, векторная диаграмма напряжений которой представлена на рис. 17.

239. Определить напряжения на элементах схемы (рис. 18), если они характеризуются следующими параметрами: $R_1=100$ Ом, $R_2=1$ кОм, $L=0{,}1$ Г, $C=5$ мкФ. Питание

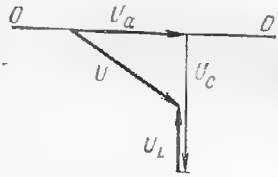


Рис. 17. К задаче 238

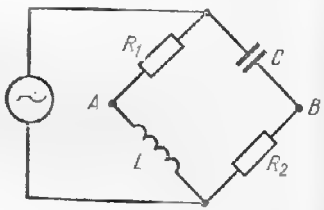


Рис. 18. К задачам 239, 240, 241

схемы осуществляется источником переменного напряжения величиной $u=250\sin 628\,t$ [В].

240. Найти такую величину емкости C (рис. 18), чтобы напряжение $U_{R1}=U_{R2}$, если остальные элементы схемы соответственно равны: $R_1=5$ кОм, $R_2=7{,}5$ кОм, $L=10$ мГ, а частота питающего напряжения $f=1$ кГц.

241*. Записать в аналитическом виде выражения для токов в ветвях цепи (рис. 18), если напряжения U_{R1} и U_{R2} равны между собой.

242. Изобразить векторные диаграммы токов и напряжений в LC-контурах (рис. 15): а) при резонансе токов; б) при резонансе напряжений.

243. При какой частоте наступает резонанс напряжений, если индуктивность 0,1 мГ и конденсатор $C=1$ мкФ соединены последовательно?

244. Определить величину емкости, если резонанс в цепи при $L=10$ мГ происходит на частоте 100 кГц.

245. Какой величины должна быть индуктивность катушки в цепи переменного тока, состоящей из параллельно включенных конденсатора и катушки, чтобы резонанс был при частоте 1000 Гц? Емкость конденсатора составляет 10 мкФ.

246*. Построить частотные характеристики $I=f(\omega)$ и $z=f(\omega)$ для резонансных цепей (рис. 15), если при последовательном и параллельном соединении элементов цепи в обоих случаях $R=5$ Ом, $L=0{,}5$ мГ и $C=0{,}15$ мкФ. Цепи питаются переменным напряжением, частота которого изменяется от 1 до 10 кГц, а действующее значение напряжения 40 В.

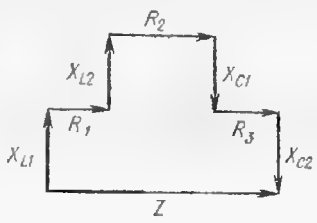


Рис. 19. К задаче 247

247. В цепи, векторная диаграмма сопротивлений которой представлена на рис. 19, закоротили все реактивные сопротивления. Как изменится ток в цепи?

248. Найти действующие значения тока, напряжения и мощностей P, Q, S в цепи, если мгновенные значения тока и напряжения определяются следующими выражениями:

$$i=30\sin(314t-70^\circ)\ [\text{А}];$$
$$u=150\sin(314t-50^\circ)\ [\text{В}].$$

249. Как изменится мощность, потребляемая лампой, если напряжение на ней уменьшилось в 2, 3, 4 раза?

250. Для освещения в цепь переменного тока напряжением 220 В нужно включить последовательно 6 ламп сопротивлением по 10 Ом каждая. Какое добавочное сопротивление надо включить в цепь, чтобы мощность, рассеиваемая на каждой лампе, не превышала 100 Вт?

251. Определить, чему равен $\cos\varphi$ при чисто активной и чисто реактивной нагрузке.

252. Активная мощность установки 400 Вт. Чему равен коэффициент мощности, если полная мощность установки 500 ВА?

253. Нагрузка включена в сеть напряжением 127 В и потребляет ток 0,3 А. Определить: а) активную; б) реактивную; в) полную мощность, если угол $\varphi=0$, 30, 60, 90°.

254. Цепь переменного тока потребляет полезную мощность 200 Вт. Найти мощность потерь цепи, если ее к. п. д. $\eta=0{,}9$.

255. Определить полную мощность катушки, если приложенное к ней напряжение $U=50$ В частотой $f=1200$ Гц, активное сопротивление катушки $R=12$ Ом; а индуктивность ее $L=5$ мГ.

256. В цепи переменного тока измерены: напряжение 127 В; ток 1 А; мощность 100 Вт. Вычислить полное, активное сопротивления цепи и коэффициент мощности.

257. Два потребителя включены в сеть напряжением 220 В и потребляют одинаковый ток 5 А. Один потребитель имеет $\cos\varphi_1 = 0{,}88$, другой — $\cos\varphi_2 = 0{,}69$. Определить активные мощности обоих потребителей.

258*. При увеличении $\cos\varphi$ на 0,4 активная мощность возросла в 2 раза. Чему равен первоначальный $\cos\varphi$, если $S = 500$ ВА.

259. Каково допустимое действующее значение переменного тока, который протекает по проводнику сопротивлением 50 Ом, если допустимая мощность 0,25 Вт?

260*. Цепь переменного тока (рис. 15, *а*) с параметрами $R = 100$ Ом, $L = 3$ мГ и $C = 0{,}5$ мкФ подключена к источнику переменного напряжения с действующим значением 50 В. Определить активную, реактивную и полную мощности цепи на следующих частотах: а) $1/2f_{рез}$; б) $f_{рез}$; в) $2f_{рез}$.

261*. Электрическая цепь подключена к источнику переменного напряжения $u = U_0 - U_m \sin\omega t$, причем $U_m = 100$ В, $\omega = 314$ 1/с, $U_0 = 10$ В (постоянная составляющая). Найти активную, реактивную и полную мощности цепи, если ее активное сопротивление 100 Ом, а реактивное 1 кОм.

262. Как осуществляется защита электроаппаратуры и соединительных проводов от влияния внешних электромагнитных полей?

15. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ, ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ И СМЕШАННОЕ СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕПЕЙ

Последовательное соединение конденсаторов чаще всего применяется, когда рабочее напряжение цепи выше допустимого напряжения конденсатора. При этом величина, обратная эквивалентной емкости последовательного соединения конденсаторов, равна сумме обратных величин их емкостей:

$$\frac{1}{C_{экв.посл}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}. \qquad (61)$$

При параллельном соединении конденсаторов эквивалентная емкость равна сумме емкостей отдельных конденсаторов:

$$C_{экв.парал} = C_1 + C_2 + \ldots + C_n. \qquad (62)$$

Определение эквивалентной индуктивности последовательного и параллельного соединения катушек индуктив-

ности аналогично соответствующим соединениям резисторов:

$$L_{\text{экв. посл}} = L_1 + L_2 + \ldots + L_n;$$
$$\frac{1}{L_{\text{экв. парал}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \ldots + \frac{1}{L_n}. \qquad (63)$$

При последовательном соединении однотипных элементов имеем:

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + \ldots + R_n;$$
$$X_{C\,\text{экв}} = X_{C1} + X_{C2} + \ldots + X_{Cn}; \qquad (64)$$
$$X_{L\,\text{экв}} = X_{L1} + X_{L2} + \ldots + X_{Ln}.$$

При параллельном соединении однотипных элементов

$$g_{\text{экв}} = g_1 + g_2 + \ldots + g_n; \qquad (65)$$
$$b_{C\,\text{экв}} = b_{C1} + b_{C2} + \ldots + b_{Cn};$$
$$b_{L\,\text{экв}} = b_{L1} + b_{L2} + \ldots + b_{Ln},$$

где g и b — активная и реактивная проводимости, См.

При последовательном соединении конденсаторов и катушек индуктивности имеем:

$$X_{\text{цепи экв}} = (X_{L1} + X_{L2} + \ldots + X_{Ln}) - (X_{C1} + X_{C2} + \ldots X_{Cn}). \qquad (66)$$

При параллельном соединении конденсаторов и катушек индуктивности:

$$b_{\text{цепи экв}} = (b_{L1} + b_{L2} + \ldots + b_{Ln}) - (b_{C1} + b_{C2} + \ldots + b_{Cn}). \qquad (67)$$

В обоих случаях положительный знак общего сопротивления цепи соответствует индуктивному, а отрицательный — емкостному характеру сопротивления цепи.

При соединениях активных и реактивных элементов величины полного сопротивления z и полной проводимости y находятся так:

$$z = \sqrt{(R_1 + R_2 + \ldots + R_n)^2 + [(X_{L1} + X_{L2} + \ldots + X_{Ln}) - (X_{C1} + X_{C2} + \ldots + X_{Cn})]^2};$$
$$y = \sqrt{(g_1 + g_2 + \ldots + g_n)^2 + [(b_{L1} + b_{L2} + \ldots + b_{Ln}) - (b_{C1} + b_{C2} + \ldots + b_{Cn})]^2}. \qquad (68)$$

Следует отметить, что катушки индуктивности имеют также определенную величину активного сопротивления обмоток, и зависимости (63—68) справедливы для тех случаев, когда этой величиной можно пренебречь.

Задачи

263. Между точками *а* и *б* участка цепи включены пять одинаковых резисторов, как показано на схеме (рис. 20). Определить эквивалентное сопротивление на этом участке.

264. Электротехническое устройство с потребляемой мощностью $P=50$ Вт и допустимым напряжением питания $U_{\text{доп}}=110$ В нужно включить в сеть переменного напряжения $U=220$ В и $f=50$ Гц. Найти емкость конденсатора, который необходимо подключить последовательно данному устройству, чтобы скомпенсировать избыточное напряжение.

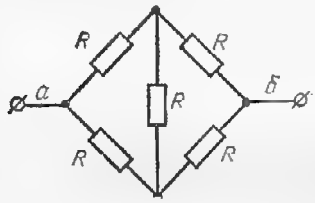


Рис. 20. К задаче 263

265. Три конденсатора, соединенные последовательно, имеют одинаковую емкость, разную C. Как изменится эквивалентная емкость цепи, если один из них закоротить?

266. Доказать, что эквивалентная емкость двух последовательно подключенных конденсаторов не может быть больше емкости любого из них.

267*. Определить эквивалентную емкость цепи, состоящей из пятнадцати последовательно подключенных конденсаторов, если емкость каждого из них меньше предыдущего в 3 раза, а емкость первого 1 мкФ.

268*. Построить графики зависимости емкости двух последовательно соединенных конденсаторов от величины емкости одного из них при $C_1=1$ мкФ; 0.5 мкФ и 2 мкФ. Чему равны значения эквивалентной емкости при $C_2\to 0$ и $C_2\to\infty$?

269. Вычислить общую энергию электрического поля цепи, состоящей из последовательного соединения конденсаторов $C_1=2$ мкФ, $C_2=3$ мкФ, если напряжение питания 100 В.

270. Найти эквивалентное сопротивление двух последовательно соединенных конденсаторов с $C_1=1$ мкФ и $C_2=3$ мкФ при частоте тока 100 Гц. Построить векторную диаграмму.

271. Решить задачу 270 для случая параллельного соединения конденсаторов.

272*. Определить эквивалентную емкость цепи, состоящей из одиннадцати параллельно подключенных конденса-

торов, если емкость каждого из них больше предыдущего на 0,1 мкФ, а емкость первого равна 1 мкФ.

273. При каком соотношении емкостей двух конденсаторов эквивалентная емкость их последовательного соединения будет в четыре раза меньше эквивалентной емкости их параллельного соединения?

274. Какова эквивалентная емкость цепи, изображенной на рис. 21, *а*?

275. Чему равна эквивалентная емкость всей батареи (рис. 21, *б*), если емкость каждого конденсатора равна C?

276. Батарея конденсаторов, состоящая из трех параллельных групп по пять конденсаторов в каждой группе, подключена к источнику переменного напряжения с $U=220$ В и $f=50$ Гц. Вычислить ток, мощность и энергию электрического поля батареи, если емкость каждого конденсатора составляет 5 мкФ.

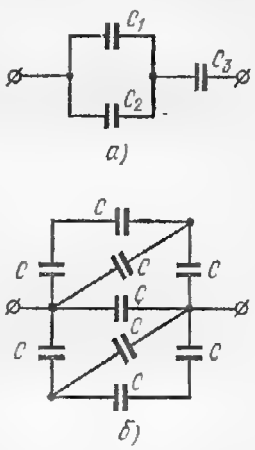


Рис. 21. *а* — к задаче 274, *б* — к задаче 275

277. Начертить монтажную схему параллельного (рис. 22, *а*) и последовательного (рис. 22, *б*) соединения конденсаторов к зажимам a и b источника переменного напряжения.

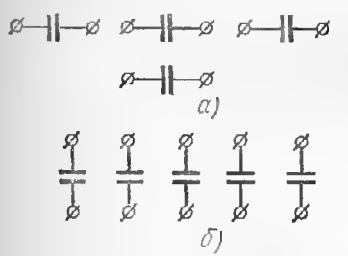


Рис. 22. К задаче 277

278. Резистор сопротивлением 90 Ом и конденсатор емкостью 5 мкФ включены последовательно. Найти напряжение резистора, конденсатора и всей цепи, если сила тока в цепи 0,5 А, а частота $f=50$ Гц.

279*. Конденсатор разряжается через резистор сопротивлением $R_н=1$ кОм, причем ток резистора меняется по закону $i=10\,e^{-\frac{t}{\tau}}$, [мА]. Найти напряжение на резисторе в момент времени $t=1, 2, 5$ мс. Определить, в какой момент времени напряжение будет равно 5 В, если $\tau=1$ мс.

280*. При зарядке конденсатора напряжение на его зажимах меняется по закону $u=U_0(1-e^{-\frac{t}{\tau}})$, [В]. Опреде-

лить значения этой функции при $t \to 0$ и $t \to \infty$ и построить ее график в диапазоне $t = 0 \div 10$ мс, если $\tau = 2$ мс.

281. Найти эквивалентное сопротивление двух последовательно соединенных катушек индуктивности с $L_1 = 1$ мГ и $L_2 = 9$ мГ при частоте тока 100 Гц. Построить векторную диаграмму для этого случая.

282. Решить задачу 281 для случая параллельного соединения катушек индуктивности.

283*. Определить эквивалентную индуктивность цепи, состоящей из тринадцати включенных последовательно между собой дросселей без взаимной связи, если индуктивность каждого последующего дросселя в 2,5 раза меньше индуктивности предыдущего, а величина индуктивности первого дросселя составляет 0,1 Г.

284. Найти эквивалентную индуктивность цепи, состоящей из параллельного соединения катушек индуктивности с $L_1 = 3$ мГ, $L_2 = 5$ мГ и $L_3 = 7$ мГ.

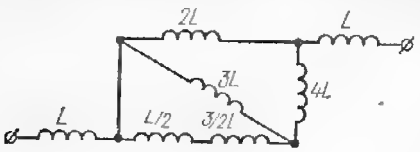


Рис. 23. К задаче 285

285. Определить эквивалентную индуктивность цепи, изображенной на рис. 23.

286. Катушку подключили к источнику постоянного тока, а затем к источнику переменного тока с частотой 50Гц. Амперметр в первом случае показал 15 А, во втором — в 5 раз меньше. Найти индуктивность катушки, если показания вольтметров в обоих случаях были одинаковыми $U_1 = U_2 = 30$ В.

287. Ток катушки индуктивности, подключенной к сети постоянного напряжения 110 В, равен 10 А, а ток той же катушки, подключенной к сети переменного напряжения 380 В и частотой 50 Гц, в полтора раза больше. Приняв активное сопротивление катушки неизменным, определить ее индуктивность.

288*. В цепи, состоящей из резистора и катушки индуктивности, соединенных последовательно, действующее значение тока 2 А при частоте 100 Гц и 3 А при частоте 50 Гц. Определить величины R и L, если напряжение питания 220 В.

289*. Цепь переменного тока обладает активным и индуктивным сопротивлениями. Построить график зависимости $P = f(R)$ в диапазоне $R = 50—500$ Ом, приняв $X_L = 100$ Ом. Определить из графика, при каком соотношении

R и X_L активная мощность цепи будет наибольшей. Напряжение питания цепи 220 В.

290. В сеть переменного напряжения с $U=220$ В и $f=50$ Гц включен приемник, активное сопротивление которого 10 Ом. Найти полное сопротивление приемника и его индуктивность, если сила тока 10 А.

291. В сеть переменного напряжения с $U=220$ В и $f=50$ Гц включена цепь, состоящая из последовательно соединенных резистора с $R=15$ Ом и катушки индуктивности с $L=50$ мГ. Чему равны токи и напряжения резистора и катушки, а также угол сдвига фаз между током и напряжением?

292*. В сеть переменного напряжения с $U=220$ В и $f=50$ Гц необходимо включить нагрузку с допустимым напряжением питания $U_{доп}=150$ В и потребляемой мощностью $P=100$ Вт. Для компенсации избыточного напряжения были использованы: а) потенциометр; б) катушка переменной индуктивности с активным сопротивлением $R=10$ Ом. Найти к. п. д. схем в обоих случаях.

293. Вычислить эквивалентное сопротивление последовательно соединенных конденсатора с $C=1$ мкФ и катушки индуктивности с $L=10$ мГ при частоте тока 1 кГц. Построить векторную диаграмму для этого случая.

294. Решить задачу 293 для случая параллельного соединения конденсатора и катушки индуктивности.

295. Почему в цепях, содержащих большое число электроприборов значительной индуктивности (например, дросселей), параллельно этим приборам подключены конденсаторы?

296. При силе тока 2 А и напряжении 127 В приемник электрической энергии потребляет мощность $P=50$ Вт. Определить емкость батареи конденсаторов, которую необходимо включить параллельно приемнику, чтобы коэффициент мощности повысился до 0,96, если частота питающего напряжения $f=50$ Гц.

297. Доказать, что соотношения RC, L/R и $\sqrt{LC}$ имеют размерности времени.

298. Найти эквивалентное сопротивление цепей на рис. 15. Построить треугольники мощностей и сопротивлений для указанных схем.

299. Электрическая цепь, изображенная на рис. 24,

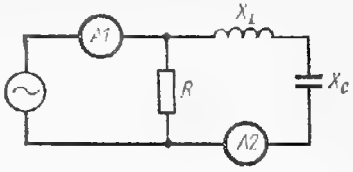


Рис. 24. К задаче 299

подключена к источнику переменного напряжения $U=127$ В и $f=50$ Гц. Определить показания амперметров, если $R=500$ Ом, $X_L=1$ кОм, $X_C=2$ кОм.

300. Составить электрические цепи, соответствующие векторным диаграммам, изображенным на рис. 25, *а*, *б*, *в*.

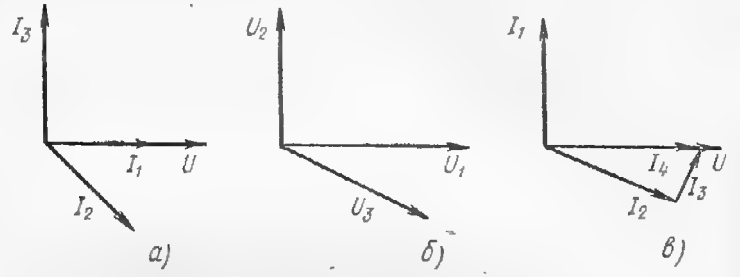


Рис. 25. К задаче 300

301. Изобразить векторные диаграммы токов в ветвях для цепей, представленных на рис. 26, *а*, *б*, *в*.

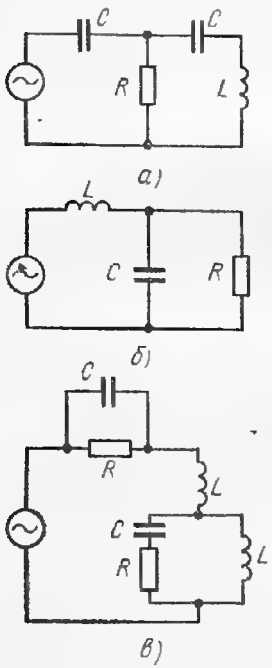


Рис. 26. К задаче 301

302. Активная проводимость цепи $g=0{,}05$ См, а реактивная $b=-0{,}03$ См. Найти полное сопротивление и силу тока в цепи, если приложенное напряжение 220 В.

303. Полное сопротивление цепи $z=100$ Ом, а коэффициент мощности $\cos\varphi=0{,}8$. Вычислить напряжение на зажимах цепи, а также активную, реактивную и полную мощности, если сила тока в цепи 2 А.

304. Нагрузка включена в сеть переменного напряжения с $U=127$В и $f=50$ Гц, причем потребляемая мощность $P=880$ Вт при коэффициенте мощности $\cos\varphi=0{,}9$. Определить активное, реактивное и полное сопротивления нагрузки, а также силу тока в ней.

305. Используя условия предыдущей задачи, построить треугольники мощностей и сопротивлений.

306. Цепь переменного тока состоит из последовательного сое-

динения резистора с $R=100$ Ом, катушки индуктивности с $R_L=10$ Ом и $X_L=80$ Ом, конденсатора с $X_C=180$ Ом. Вычислить полное сопротивление цепи и напряжение на ее зажимах, если сила тока в цепи 0,3 А.

307. Построить векторные диаграммы токов для цепей, изображенных на рис. 27, *а* и *б*, если $R_1=1$ кОм; $R_2=0{,}75$ кОм; $X_L=1{,}5$ кОм; $X_C=2$ кОм, а цепи в обоих случаях подключены к источнику переменного напряжения с $U=380$ В.

308*. Определить полное сопротивление цепи и напряжение на ее зажимах, если цепь состоит из двух параллельных ветвей (рис. 27, *в*) со следующими параметрами: $R_1=150$ Ом; $X_{L1}=200$ Ом; $R_2=250$ Ом, $X_{L2}=100$ Ом. Сила тока в неразветвленной части цепи 0,8 А.

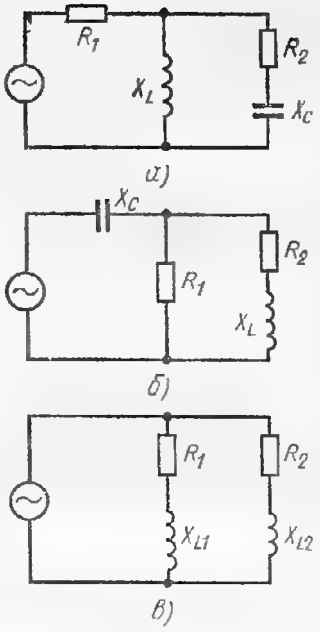


Рис. 27. *а*, *б* — к задаче 307; *в* — к задаче 308

309. На рис. 28 изображена электрическая схема, характеризующаяся следующими параметрами: $R_1=560$ Ом; $X_{L1}=900$ Ом; $R_2=1{,}2$ кОм; $X_{L2}=1{,}5$ кОм; $R_3=3{,}9$ кОм; $X_C=5$ кОм. Определить токи I_1 и I_2, если ток $I_3=0{,}02$ А.

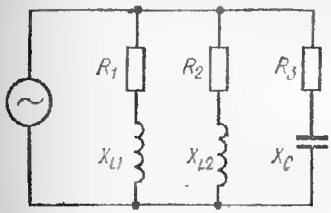


Рис. 28. К задаче 309

310. По условиям задачи 309 построить векторную диаграмму цепи.

311. Начертить монтажную схему параллельного соединения элементов к источнику переменного напряжения (рис. 29).

312. Составить такую электрическую схему включения светильника, состоящего из пяти ламп, чтобы можно было раздельно включить две, три и пять ламп.

313. Составить коммутационную схему, позволяющую раздельно включать и выключать электротехническое устройство с трех различных мест.

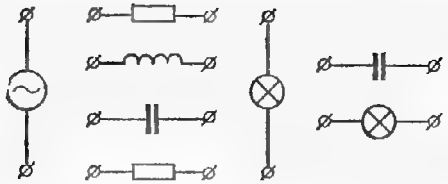


Рис. 29. К задаче 311

§ 16. ТРЕХФАЗНАЯ СИСТЕМА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Трехфазной системой переменного тока называется цепь или сеть переменного тока, в которой действуют три э. д. с. одинаковой частоты, начальные фазы которых смещены на $^1/_3$ периода (рис. 30). Отдельные цепи, составляющие трехфазную систему, называются фазами.

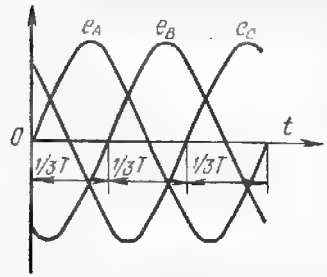


Рис. 30. Осциллограммы э.д.с. трехфазной системы переменного тока

Совокупность токов, напряжений или э. д. с., действующих в фазах трехфазной цепи, называется трехфазной системой токов, напряжений или э. д. с.

Трехфазная система называется симметричной, если э. д. с. и нагрузки во всех фазах имеют одинаковые значения.

Мгновенные значения э. д. с. соответствующих фаз определяются следующим образом:

$$e_A = E_m \sin \omega t;$$

$$e_B = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right);$$

$$e_C = E_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right). \qquad (69)$$

На практике применяются два способа соединения цепей в трехфазной системе: соединение звездой и соединение треугольником (рис. 31).

При соединении звездой

$$U_л = \sqrt{3}\, U_ф; \qquad (70)$$

$$I_л = I_ф.$$

При соединении треугольником

$$U_л = U_ф;$$
$$I_л = \sqrt{3}\, I_ф, \qquad (71)$$

где $U_л$ и $I_л$ — линейные ток и напряжение; $U_ф$ и $I_ф$ — фазные ток и напряжение.

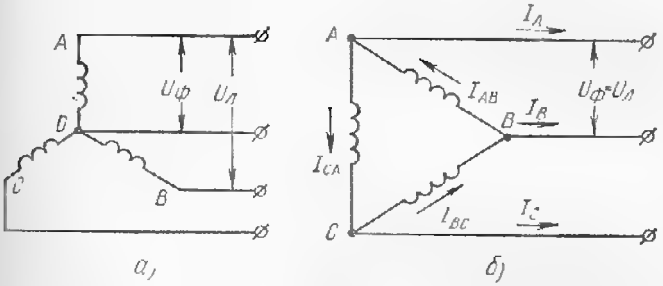


Рис. 31. Схемы соединения обмоток источника (трехфазного генератора):
а — звездой, *б* — треугольником

Потребители энергии подключаются по схемам звезды и треугольника.

Активная мощность, потребляемая от трехфазной сети, при симметричной нагрузке независимо от способа ее включения определяется так:

$$P = \sqrt{3}\, U_л I_л \cos\varphi;$$
$$P = 3 U_ф I_ф \cos\varphi. \qquad (72)$$

Задачи

314. Векторы фазных напряжений при соединении обмоток трехфазного генератора звездой изображены на рис. 32. Построить векторы линейных напряжений.

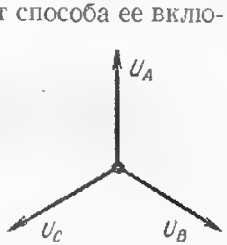


Рис. 32. К задаче 314

315. Используя условия предыдущей задачи, построить векторные диаграммы линейных токов в случае активной, индуктивной и емкостной симметричных нагрузок.

316. Э. д. с. в одной из фаз изменяется по закону $e_A = E_m \sin(\omega t - 120°)$. Написать аналитические выражения для мгновенных значений э. д. с. двух других фаз.

317. Чему равна алгебраическая сумма мгновенных значений линейных токов в симметричной трехфазной цепи

при соединении обмоток потребителя: а) звездой; б) треугольником? Ответ пояснить с помощью векторной диаграммы.

318. Определить линейное напряжение в трехфазной линии при передаче мощности 100 кВт, если линейный ток 18 А, $\cos\varphi=0{,}83$.

319. Трехфазный двигатель работает с $\cos\varphi=0{,}82$ при напряжении сети 220 В и мощности 3,2 кВт. Чему равны линейный и фазный токи? Обмотки двигателя соединены треугольником.

320. К трехфазному генератору, обмотки которого соединены звездой, подключена симметричная нагрузка, активное сопротивление которой в каждой фазе R—0,5 кОм, а индуктивное $X_L=2$ кОм. Вычислить линейные токи и напряжения, если фазное напряжение $U_\Phi=220$ В, при включении нагрузки: а) звездой; б) треугольником.

321. К трехфазному генератору, обмотки которого соединены треугольником, подключена симметричная нагрузка, активное сопротивление которой в каждой фазе R -1 кОм, а емкостное $X_C=2{,}5$ кОм. Считая линейное напряжение $U_л=220$ В, найти фазные токи и напряжения при включении нагрузки: а) звездой; б) треугольником.

322. К трехфазному генератору, обмотки которого соединены звездой, подключена несимметричная нагрузка, фазы которой характеризуются следующими параметрами: фаза A—$R_A=0{,}8$ кОм, $X_{LA}=1{,}2$ кОм; фаза B—$R_B=0{,}4$ кОм, $X_{CB}=2$ кОм; фаза C—$R_C=1$ кОм, $X_{LC}=1{,}8$ кОм. Определить линейные токи и напряжения каждой фазы, если нагрузка соединена звездой, а фазные напряжения одинаковы и равны 127 В.

323. Используя условия предыдущей задачи, найти коэффициент мощности и активную мощность каждой фазы.

324. К трехфазному генератору, обмотки которого соединены треугольником, подключена несимметричная нагрузка, фазы которой характеризуются следующими параметрами: фаза A—$R_A=0{,}3$ кОм, $X_{LA}=1$ кОм; фаза B—$R_B=0{,}8$ кОм, $X_{CB}=1{,}2$ кОм; фаза C—$R_C=0{,}5$ кОм, $X_{LC}=1{,}6$ кОм. Определить линейные и фазные токи, если нагрузка соединена треугольником, а линейные напряжения одинаковы и равны 220 В.

325. По условиям предыдущей задачи найти коэффициент мощности и активную мощность каждой фазы.

326. Даны линейное напряжение и линейный ток в симметричной трехфазной цепи: $U_л=120$ В и $I_л=1$ А. Найти

активную мощность, если угол сдвига фаз $\varphi=30°$; $\varphi=45°$; $\varphi=60°$.

327. При изменении активной мощности в одной из фаз трехпроводной цепи трехфазного тока с симметричной нагрузкой на 100 Вт полная мощность увеличилась в два раза. Чему равна первоначальная активная мощность всей цепи?

328. Осветительная сеть, представляющая собой три ветви по 15 ламп мощностью 100 Вт каждая, подсоединена звездой к трехфазной сети с $U_ф=220$ В. Определить энергию, расходуемую осветительной сетью в течение 1 ч.

329. Симметричная нагрузка, каждая фаза которой характеризуется параметрами: $R=0{,}85$ кОм и $X_L=1{,}8$ кОм, соединена треугольником и подключена к трехпроводной сети с фазным напряжением 220 В. Вычислить сопротивление каждого соединительного провода, если напряжение на нем составляет 1% от напряжения фазы потребителя.

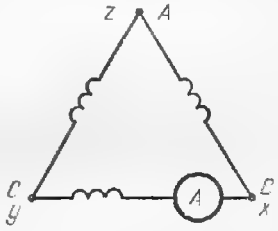
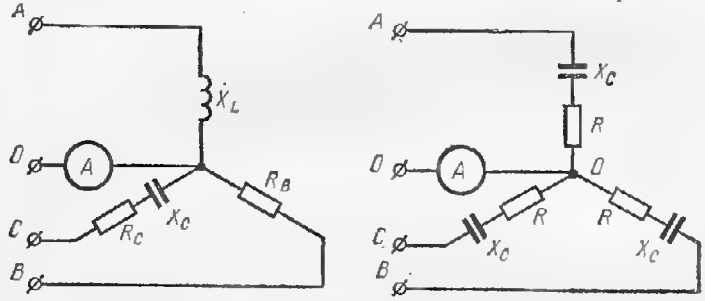


Рис. 33. К задаче 330

330. На основании 2-го закона Кирхгофа доказать, что амперметр, включенный, как показано на рис. 33, при соединении обмоток трехфазного генератора треугольником, покажет нуль.

331. Будет ли давать показания амперметр, включенный в цепь, как показано на рис. 34, *а*, *б*?

332. Потребитель энергии соединен звездой с трехфазным генератором по четырехпроводной системе. Определить



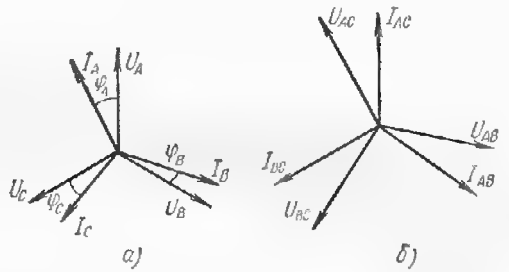
а) *б*)

Рис. 34. К задачам 331, 336, 337, 338

характер нагрузки каждой фазы по векторной диаграмме фазных токов и напряжений (рис. 35, *а*).

333. Используя векторную диаграмму на рис. 35, *а*, найти активные и реактивные сопротивления каждой фазы, если векторы токов и напряжений изображены в следующих масштабах: 0,1 А/мм и 8 В/мм.

334. Потребитель энергии соединен треугольником с трехфазным генератором. Определить характер нагрузки каждой фазы по векторной диаграмме фазных токов и напряжений (рис. 35, *б*).



а) *б)*

Рис. 35. *а* — к задаче 332, *б* — к задаче 334, 335

335. Используя векторную диаграмму на рис. 35, *б*, найти активные и реактивные сопротивления каждой фазы, если векторы токов и напряжений изображены в следующих масштабах: 0,15 А/мм и 12 В/мм.

336*. Определить показания амперметра в схеме на рис. 34, *а*, если R_B—0,8 кОм; X_L=1 кОм; X_C=1 кОм; R_C=0. Фазное напряжение принять равным 127 В в каждой фазе.

337. Используя условия предыдущей задачи, построить векторные диаграммы линейных токов и напряжений.

338. К каждой фазе потребителя (рис. 34, *б*) с R =1 кОм и X_C—1,7 кОм приложено напряжение $U_Ф$=220 В. Построить: а) векторные диаграммы фазных напряжений и токов; б) треугольники сопротивлений и мощностей для каждой фазы.

339. Существует ли магнитное поле вокруг трехфазного кабеля, подводящего электроэнергию к нагрузке, подключенной по схеме треугольника?

340. В каком случае не нужен нулевой провод в трехфазной цепи?

341. Можно ли включать трехфазный двигатель в трехфазную сеть без нулевого провода?

342. Является ли аварийным режимом обрыв нулевого

провода при соединении звездой трехфазного генератора и потребителя: а) при симметричной нагрузке; б) при несимметричной нагрузке?

343. Доказать, что при соединении обмоток трехфазного генератора и фаз потребителя звездой ток по нулевому проводу равен нулю при условии $z_A=z_B=z_C$.

344. Объяснить, почему на нулевой провод в четырехпроводной трехфазной цепи не ставят предохранитель.

345. Каким образом на практике определяют, какой из проводов четырехпроводной трехфазной сети является нулевым?

346. К трехпроводной трехфазной сети присоединена электрическая лампа мощностью 100 Вт. Определить токи в проводах трехфазной линии, если линейное напряжение сети 220 В (рис. 36, *а*).

347. Два потребителя электрической энергии с $R_1=5$ кОм; $X_{L1}=8$ кОм; $R_2=3{,}5$ кОм и $X_{L2}=7{,}2$ кОм подключены к трехфазному генератору (рис. 36, *б*). Найти токи и углы сдвига фаз между током и напряжением потребителей, если напряжение в каждой фазе 220 В.

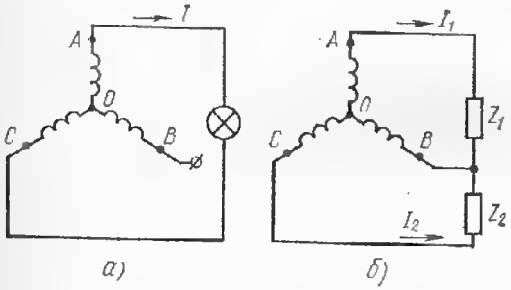


Рис. 36. *а* — к задаче 346, *б* — к задаче 347

348. Симметричная нагрузка, каждая фаза которой состоит из четырех соединенных параллельно ламп, подключена звездой к трехфазной сети с линейным напряжением $U_л=220$ В. Определить токи в фазах и напряжения на лампах при коротком замыкании одной из фаз, если мощность, потребляемая каждой лампой, равна 60 Вт.

349. По условиям предыдущей задачи определить токи

в фазах и напряжения на лампах при сгорании предохранителя в фазе A.

350. Три одинаковые катушки индуктивности с $R=1$ Ом и $X_L=15$ Ом включены в трехфазную сеть с фазным напряжением 220 В. Определить активную, реактивную и полную мощности, потребляемые катушками.

351. Трехфазный двигатель переменного тока при соединении его обмоток звездой потребляет от сети с линейным напряжением $U_л=220$ В мощность $P=3$ кВт. Как изменится мощность, потребляемая двигателем, при переключении его обмоток со звезды на треугольник, если коэффициент мощности $\cos\varphi=0{,}86$?

352*. Два потребителя с симметричными фазами включены в трехфазную сеть переменного тока соответственно звездой и треугольником. При каком соотношении сопротивлений фаз линейные токи, потребляемая мощность и коэффициент мощности будут одинаковы для обоих потребителей?

353. Что является более опасным для человека: прикосновение к одному проводу или к двум проводам одновременно трехфазной линии?

354. Почему нельзя соединять концы оборвавшегося провода трехфазной линии, предварительно не отключив ее, даже при наличии надежной изоляции электромонтера от земли?

355. Составить принципиальную электрическую схему соединения элементов (рис. 37, *а*) к четырехпроводной сети: а) звездой; б) треугольником.

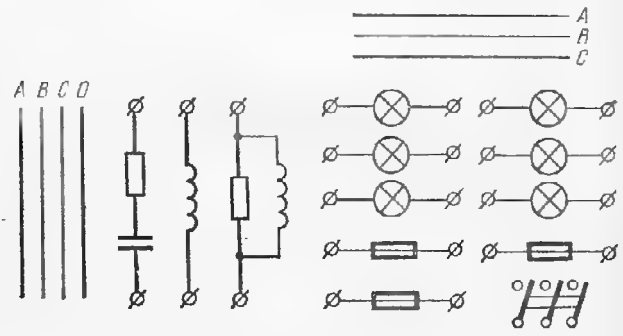


Рис. 37. *а* — к задаче 355, *б* — к задаче 357

356. Составить такую схему подключения двенадцати одинаковых ламп к трехфазной сети, чтобы нагрузка была симметричной, причем шесть ламп должно быть подключено звездой, а шесть — треугольником.

357. При помощи элементов, данных на рис. 37, *б*, составить коммутационную схему включения симметричной нагрузки, состоящей из шести одинаковых ламп, к трехфазной сети звездой.

ГЛАВА V

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 17. ПОГРЕШНОСТИ ПРИБОРОВ И ИЗМЕРЕНИЙ

Абсолютная погрешность прибора представляет собой разность между измеренным и истинным значениями измеряемой величины:

$$\Delta A = A_{и} - A_{д}, \tag{73}$$

где $A_{и}$ — измеренное значение; $A_{д}$ — действительное (истинное) значение измеряемой величины.

Относительная погрешность представляет собой отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины:

$$\gamma = \frac{\Delta A}{A_{д}} \cdot 100\% = \frac{A_{и} - A_{д}}{A_{д}} \cdot 100\%. \tag{74}$$

Приведенной погрешностью прибора называется отношение абсолютной погрешности к номинальной величине прибора:

$$\gamma_{пр} = \frac{\Delta A}{A_{н}} \cdot 100\%, \tag{75}$$

где $A_{н}$ — номинальная величина прибора (верхний предел его измерения).

Приведенная погрешность прибора при нормальных рабочих условиях (рабочее положение шкалы, температура 293 К, отсутствие внешних магнитных полей, отсутствие вблизи прибора ферромагнитных масс и т. д.) называется основной приведенной погрешностью.

Наибольшая возможная относительная погрешность измерения при прямом методе непосредственной оценки определяется так:

$$\gamma_{нв} = \gamma_{доп} \frac{A_{н}}{A_{д}} \approx \gamma_{доп} \frac{A_{н}}{A_{и}}, \tag{76}$$

где $\gamma_{доп}$ — основная допустимая приведенная погрешность прибора, характеризующая его класс точности.

Основная допустимая приведенная погрешность определяется из следующего выражения:

$$\gamma_{доп} = \frac{\Delta A_{m}}{A_{н}} \cdot 100\%, \tag{77}$$

где ΔA_m — наибольшая возможная абсолютная погрешность.

Классом точности прибора называется значение основной допустимой приведенной погрешности $\gamma_{доп}$, округленное до ближайшего числа, соответствующего стандартному ряду классов точности.

Постоянная прибора (цена деления прибора) c_x есть величина, на которую необходимо умножить отсчет в делениях или миллиметрах шкалы, чтобы получить показание прибора:

$$c_x = \frac{\Delta x}{\Delta \alpha}\left[\frac{\text{единица измеряемой величины}}{\text{град (или мм)}}\right], \qquad (78)$$

где Δx — изменение значения измеряемой величины; $\Delta\alpha$ — линейное (или угловое) перемещение указателя.

Величина, обратная постоянной прибора, называется чувствительностью прибора:

$$s_x = \frac{1}{c_x} = \frac{\Delta \alpha}{\Delta x}. \qquad (79)$$

Чувствительность прибора численно равна линейному или угловому перемещению указателя, соответствующему единице измеряемой величины.

Задачи

358. Истинное значение тока в цепи 5,23 А. Амперметр с верхним пределом измерения 10 А показал ток 5,3 А. Определить: а) абсолютную погрешность прибора; б) поправку; в) относительную погрешность прибора; г) основную приведенную погрешность прибора.

359. В резисторе, истинная величина сопротивления которого равна 8 Ом, протекает ток 2,4 А. При измерении напряжения на концах этого резистора вольтметр показал напряжение 19,3 В. Определить абсолютную и относительную погрешности.

360. Чему равна наибольшая возможная абсолютная погрешность прибора класса точности 1,0, если верхний предел его измерения 10 А?

361. В какой части равномерной шкалы прибора относительная погрешность измерения будет наибольшей?

362. Найти относительную погрешность вольтметра, который показал 12,1 В, если истинное значение напряжения в сети 12,18 В.

363. Используя условия предыдущей задачи, определить значение поправочного коэффициента.

364. Действительное значение тока в цепи 2 А. Какова приведенная погрешность прибора с верхним пределом измерения 5 А, если он показал 2,12 А?

365. Определить наибольшую возможную относительную погрешность при измерении тока амперметром класса точности 1,0 с номинальным током 20 А, если он показал 5 А.

366. Чему равна в общем виде приведенная погрешность приборов с двусторонней шкалой, имеющих нуль посередине шкалы?

367. При измерении напряжения на нагрузочном резисторе вольтметр показал 13,5 В. Найти абсолютную и относительную погрешности вольтметра, если сопротивление резистора 7 Ом. Э. д. с. источника 14,2 В, его внутреннее сопротивление 0,1 Ом.

368. Классы точности двух вольтметров одинаковы и равны 1,0, а верхние пределы измерения различны: у первого — 50 В, а у второго — 10 В. В каком соотношении будут находиться максимальные значения абсолютных погрешностей измерения в процессе эксплуатации?

369. Двадцать осветительных ламп включены параллельно. В неразветвленную часть цепи включен амперметр, показание которого 4,2 А. Чему равны абсолютная и относительная погрешности амперметра при условии, что лампы одинаковы и сила тока в каждой лампе 0,2 А?

370. Максимальные значения абсолютных погрешностей измерения при помощи двух миллиамперметров одинаковы, а верхний предел измерения второго прибора больше. В каком отношении находятся классы точности приборов?

371. Рамка магнитоэлектрического прибора имеет 150 витков, площадь ее сечения $6 \cdot 10^{-4}$ м^2. Определить угловое перемещение рамки, если индукция в воздушном зазоре прибора 0,1 Т, а при измеряемом токе 12 мА разность между вращающим и противодействующим моментами 10^{-2} Н·м.

372. При изменении тока от 10 до 20 мА указатель магнитоэлектрического миллиамперметра переместился на 10 делений. Определить чувствительность прибора и его постоянную.

373. По графику зависимости угла поворота подвижной части миллиамперметра от силы измеряемого тока (рис. 38, *а*) вычислить чувствительность прибора и цену деления шкалы.

374. Используя график зависимости угла поворота подвижной части амперметра от силы измеряемого тока (рис. 38, *б*), определить чувствительность прибора и цену деления при следующих измеряемых токах: 1 А, 3 А, 5 А, 8 А. Изменение измеряемого тока во всех случаях принять Δx=0,5 А.

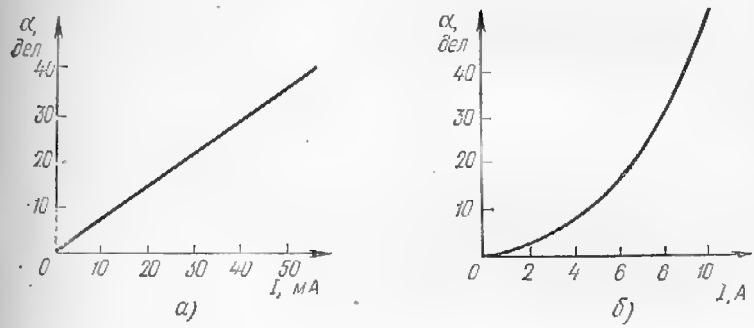


Рис. 38. *а* — к задаче 373, *б* — к задаче 374

375. При включении электроизмерительного прибора в цепь его стрелка отклонилась влево от нулевого положения. Когда соединительные провода поменяли местами, то стрелка отклонилась вправо от нуля. Какой системы был взят прибор?

376. При изменении измеряемого тока от 5 до 10 мА указатель одного миллиамперметра переместился на 4 деления, а другого — на 7 делений. Определить соотношения между чувствительностями и постоянными приборов.

377. Магнитоэлектрический прибор с номинальной величиной 50 мВ имеет сопротивление 10 кОм и шкалу на 50 делений. Определить чувствительность этого прибора к току и потребляемую мощность.

378. Основная приведенная погрешность показаний магнитоэлектрического прибора 0,4%. Какова погрешность прибора при отклонении стрелки на 75, 50, 25 и 5% его шкалы?

379. Миллиамперметр рассчитан на ток 200 мА и имеет чувствительность 0,5 дел/мА. Чему равны число делений шкалы, цена деления и измеренный ток, если стрелка миллиамперметра отклонилась на 30 делений?

380*. Как узнать чувствительность электроизмерительного прибора при произвольной зависимости между углом поворота подвижной части и измеряемой величиной?

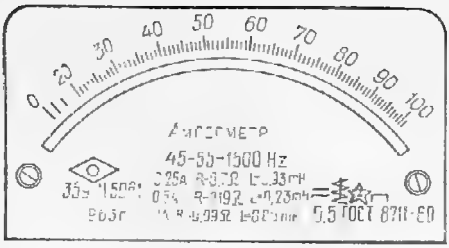


Рис. 39. К задаче 381

381. На рис. 39 приведен пример маркировки шкалы электроизмерительного прибора. Расшифруйте каждую надпись.

382. При ремонте прибора магнитоэлектрической системы измерительную катушку сделали без металлического каркаса. Каким образом и почему это повлияет на работу прибора?

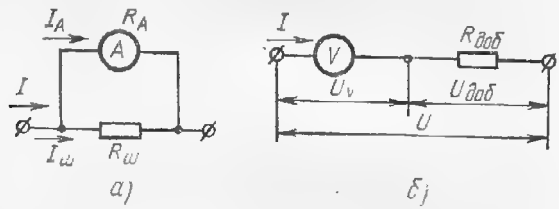
383. Поставленная при ремонте прибора новая противодействующая пружина оказалась с бо́льшим противодействующим моментом. Отразится ли это на показаниях прибора?

§ 18. ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Сопротивление шунта (рис. 40, *а*) соответствует уравнению:

$$R_{ш} = \frac{R_{п}}{k_{ш} - 1}, \qquad (80)$$

где $R_{п}$ — сопротивление измерительного прибора; $k_{ш} = \frac{I}{I_{п}}$ — коэффициент шунтирования, показывающий, во



а) *б)*

Рис. 40. Схемы расширения пределов измерения: *а* — амперметра, *б* — вольтметра. К задачам 385, 387, 396, 398

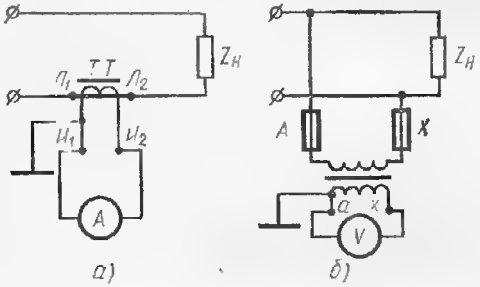
сколько раз измеряемый ток I больше тока измерительного прибора $I_{п}$, т. е. во сколько раз расширяется предел измерения.

Добавочное сопротивление (рис. 40, *б*) для расширения пределов измерения по напряжению находят по формуле:

$$R_{доб} = R_{V} \cdot (k_{п} - 1), \qquad (81)$$

где R_V — сопротивление вольтметра; $k_п = \frac{U}{U_н}$ — коэффициент расширения пределов измерения; U — измеряемое напряжение; $U_н$ — номинальное напряжение прибора.

Для расширения пределов измерения в цепях переменного тока применяют измерительные трансформаторы тока и напряжения (рис. 41).



а) *б)*

Рис. 41. Измерительные трансформаторы:
а — тока, *б* — напряжения

Номинальные коэффициенты трансформации определяются следующим образом:

$$k_{нI} = \frac{I_{н1}}{I_{н2}};$$

$$k_{нU} = \frac{U_{н1}}{U_{н2}}, \qquad (82)$$

где $I_{н1}$ и $U_{н1}$ — первичные номинальные ток и напряжение; $I_{н2}$ и $U_{н2}$ — вторичные номинальные ток и напряжение.

Относительные погрешности по току и напряжению, обусловленные применением измерительных трансформаторов, вычисляют следующим образом:

$$\gamma_I = \frac{I_2 k_н - I_2 k_т}{I_2 k_т} \cdot 100\%;$$

$$\gamma_U = \frac{U_2 k_н - U_2 k_т}{U_2 k_т} \cdot 100\%, \qquad (83)$$

где $k_т$ — действительный коэффициент трансформации.

Действительный коэффициент трансформации для трансформаторов тока и напряжения находят так:

$$k_т = k_I = \frac{I_1}{I_2}; \qquad (84)$$

$$k_т = k_U = \frac{U_1}{U_2},$$

где I_1; I_2; U_1; U_2 — действительные значения первичных и вторичных токов и напряжений.

К трансформатору может быть подключено такое число приборов, чтобы их мощность при номинальном напряжении не превышала номинальной мощности трансформатора:

$$S_н = \Sigma S_п, \tag{85}$$

где $S_п$ — мощность, потребляемая каждым из приборов.

Задачи

384. Номинальный ток амперметра 1 А, сопротивление его 0,08 Ом. Какой ток проходит в цепи, если амперметр, зашунтированный сопротивлением 0,03 Ом, показывает ток 0,9 А?

385. Известен номинальный ток амперметра (рис. 40, *а*) $I_A = 1$ А и сопротивление шунта $R_ш$. Определить сопротивление прибора, если при силе тока в цепи 5 А он показал 1 А.

386. Необходимо измерить ток $I = 10$ А амперметром, рассчитанным на 1 А. Определить сопротивление шунта, учитывая, что сопротивление измерительного прибора 10 Ом.

387. Объяснить, почему шунт всегда включается последовательно в цепь измеряемого тока и параллельно к нему подключается амперметр, а не наоборот (рис. 40, *а*).

388. Амперметром с сопротивлением R_A следует измерить силу тока в 10, 100, 1000 раз больше номинальной его величины. Найти соотношения между сопротивлениями амперметра и шунтов, подобранных для выполнения указанных измерений.

389. Амперметр, имеющий сопротивление 0,02 Ом и рассчитанный на измерение максимального тока 10 А, применяют для измерения токов до 100 А. Какой длины потребуется медный проводник сечением 0,2 мм² для изготовления шунта?

390. Миллиамперметр сопротивлением $R_A = 10$ Ом имеет шкалу на 50 делений с ценой деления 10 мА/дел. При измерении тока к прибору подключили шунт сопротивлением $R_ш = 2{,}5$ Ом. Какой можно измерять предельный ток и какова цена деления прибора в данном случае?

391. В цепь переменного тока включены последовательно два амперметра с номинальными токами: $I_{н1} = 1$ А и $I_{н2} = 10$ А (рис. 42). Какой максимальный ток можно измерить

в цепи? В каких случаях может применяться указанная схема включения?

392. Сопротивление амперметра R—0,08 Ом. Чему равно напряжение на амперметре, если через него проходит ток 1 А? Определить напряжение при подключении к прибору шунта сопротивлением 0,02 Ом.

393. Два магнитоэлектрических амперметра с различными сопротивлениями включены последовательно в общую цепь. Объяснить, будут ли отличаться их показания.

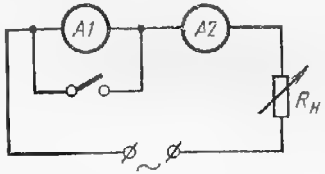


Рис. 42. К задаче 391

394. Для измерения силы тока в цепи с резистором сопротивлением 10 Ом включен амперметр сопротивлением 0,1 Ом. Определить абсолютную и относительную величины изменения тока, вызванного включением амперметра. Напряжение на зажимах цепи поддерживается постоянным.

395. Амперметр, подключенный последовательно к прибору и имеющий сопротивление 5 Ом, показывает 0,2 А. Чему равно сопротивление прибора, если к схеме приложено напряжение 220 В?

396. Вольтметр рассчитан для измерения напряжений до 15 В. Определить величину добавочного сопротивления, которое необходимо для измерения этим прибором напряжения 225 В, если сопротивление вольтметра R_V—50 кОм (рис. 40, *б*).

397. Вольтметром с сопротивлением R_V требуется измерить напряжения в 10, 100 и 1000 раз больше номинальной его величины. Найти соотношения между R_V и добавочными сопротивлениями, подобранными для выполнения указанных условий.

398. Каковы потери мощности в обмотке вольтметра и в добавочном сопротивлении (рис. 40, *б*), если U_V—150 В; R_V=60 кОм; U—220 В.

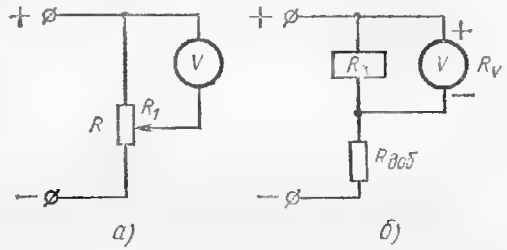
399. Определить напряжение цепи (рис. 43, *а*), если вольтметр показал напряжение 180 В, а сопротивление R_1—0,8 кОм. Сопротивление делителя напряжения R=2,4 кОм, а R_V=20 кОм.

400*. Два одинаковых вольтметра с R_V=60 кОм и $U_н$=150 В соединены последовательно. Какое максимальное добавочное сопротивление нужно подключить к одному из них, чтобы можно было измерять напряжение до 280 В?

401. Как измерять постоянное напряжение магнито-

электрическим трехпредельным вольтметром, если неизвестна полярность источника?

402. Определить в аналитическом виде относительную погрешность измерения напряжения на катушке реле $R_к$, включенной последовательно с $R_{доб}$ к источнику постоянного напряжения (рис. 43, *б*).



а) *б)*

Рис. 43. *а* — к задаче 399, *б* — к задаче 402

403. Бытовые приборы допускают колебания напряжения на ±5%. С какой абсолютной погрешностью достаточно измерять напряжение в бытовой сети при напряжениях 127 и 220 В?

404. Амперметр, включенный последовательно с резистором сопротивлением $R=50$ Ом, показал ток I [illegible]5 А. Подключенный к этому же резистору вольтметр показал $U=25{,}1$ В. Найти внутреннее сопротивление вольтметра.

405. Амперметр с внутренним сопротивлением $R_A=1$ Ом подключен к зажимам батареи и показывает 3 А. Вольтметр с внутренним сопротивлением $R_V=10$ кОм подключен к зажимам той же батареи и показывает 8 В. Определить напряжение холостого хода и ток короткого замыкания батареи.

406. Вычислить относительную погрешность при измерении тока во второй параллельной ветви γ_{I_2}, если токи в первой параллельной ветви и неразветвленной части цепи $I_1=2$ А и $I=5$ А измерены с абсолютными погрешностями $\Delta I_1=0{,}02$ А и $\Delta I=0{,}05$ А.

407*. Мгновенные значения токов в двух параллельных ветвях цепи однофазного переменного тока имеют вид: 1) $i_1=0{,}141\sin 314\,t$ [А], $i_2=0{,}282\sin 314\,t$ [А]; 2) $i_1=0{,}5\sin 314\,t$ [А], $i_2=0{,}8\sin(314\,t-90^\circ)$ [А].

Что покажет электромагнитный амперметр в обоих случаях, если он включен в неразветвленную часть цепи?

408. Для расширения пределов измерения электростатического вольтметра последовательно с ним подключаю.

конденсатор (рис. 44, *а*). Определить величину емкости этого конденсатора (т. е. добавочной емкости), если вольтметром с номинальным напряжением $U_н$=2 кВ необходимо измерить напряжение U—30 кВ. Емкость вольтметра 40 пФ.

409. К электростатическому вольтметру, емкость которого 200 пФ, последовательно подсоединили конденсатор емкостью 40 пФ. Какое максимальное напряжение можно измерять вольтметром теперь, если шкала его имеет 100 делений, а цена одного деления равна 0,5 В/дел?

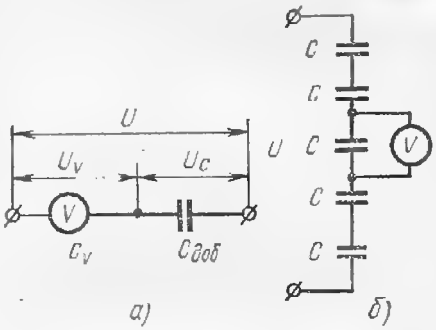


Рис. 44. *а* — к задаче 408, *б* — к задаче 410

410. К электростатическому вольтметру с верхним пределом измерения 150 В и емкостью 3 пФ подключен емкостный делитель напряжения (рис. 44, *б*), который состоит из пяти одинаковых конденсаторов емкостью 5 пФ каждый. Каково будет напряжение в цепи, если вольтметр показал 110 В?

411. Четырехпредельный вольтметр имеет пределы измерения, изменяющиеся по закону геометрической прогрессии со знаменателем 2. Какое максимальное напряжение можно с его помощью измерять, если наименьший предел измерения 75 В?

412. К трансформатору тока 400/5 присоединен амперметр, рассчитанный на 15 А. Определить показания прибора при номинальном токе трансформатора.

413. Измерительный трансформатор напряжения имеет обмотки с числом витков w_1=10 000 и w_2=200. Ко вторичной обмотке присоединен вольтметр с номинальным напряжением 150 В. Определить коэффициент трансформации и предельное значение напряжения, которое можно измерить.

414. Чему равна относительная погрешность коэффициента трансформации измерительного трансформатора тока γ_I, если при включении его в цепь I_1=410 А; I_2=5,3 А, а коэффициент трансформации по паспортным данным 400/5?

415. Какое максимальное количество измерительных приборов можно подключать к измерительному трансформатору с номинальной мощностью 9 Вт, если каждый прибор потребляет мощность 1,2 Вт?

416. Будет ли работать магнитоэлектрический миллиамперметр, включенный в цепь, если произошел обрыв: а) в цепи рамки; б) во внешней цепи?

417. Будет ли давать показания электродинамический вольтметр, включенный в цепь, если: а) подвижная и неподвижная катушки замкнуты накоротко; б) магнитный поток, создаваемый неподвижной катушкой, имеет направление, противоположное потоку подвижной катушки?

§ 19. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

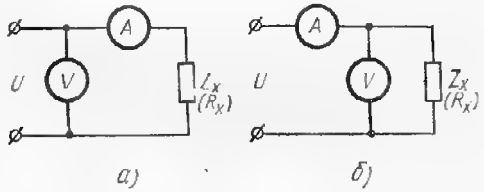
Измерение сопротивления методом амперметра и вольтметра: для схемы на рис. 45, *а*

$$R_x = \frac{U}{I} - R_A;$$

для схемы на рис. 45, *б*

$$R_x = \frac{UR_V}{IR_V - U}, \qquad (86)$$

где U — показание вольтметра; I — показание амперметра; R_V — сопротивление вольтметра; R_A — сопротивление амперметра.



а) *б)*

Рис. 45. Схемы измерения сопротивлений методом амперметра и вольтметра. К задачам 419, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 445, 475

Измерение сопротивлений одинарным мостом (рис. 46):

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}. \qquad (87)$$

Измерение сопротивлений поочередным включением приборов:

а) вольтметра — сначала непосредственно в сеть, затем последовательно с измеряемым сопротивлением (рис. 47, *а*):

$$R_x = R_V \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right), \qquad (88)$$

где U_1 — показание вольтметра при подключении его непосредственно к сети; U_2 — показание вольтметра при подключении его к сети последовательно с измеряемым сопротивлением R_x;

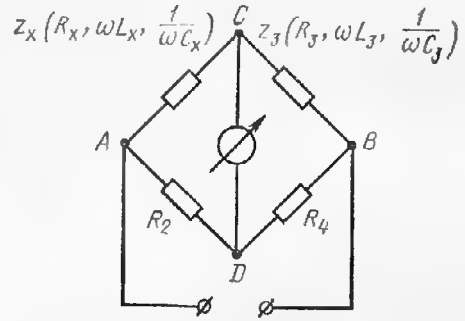


Рис. 46. Схема измерения сопротивлений одинарным мостом. К задачам 429, 430, 431, 476,478, 479

Примечание. z_3 z_x — активное, индуктивное или емкостное сопротивления в зависимости от условий задачи

б) амперметра — сначала в сеть последовательно с известным сопротивлением, затем последовательно с искомым сопротивлением (рис. 47, *б*)

$$R_x = \frac{I_0}{I_1}(R_0 + R_A) - R_A, \qquad (89)$$

где I_1 — показание амперметра при включении искомого

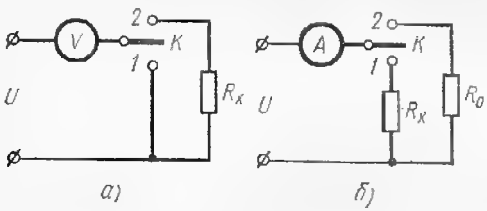


Рис. 47. Схемы измерения сопротивлений поочередным включением приборов:
а — вольтметра, *б* — амперметра. К задачам 432, 433, 434

сопротивления R_x; I_0 — показание амперметра при включении известного сопротивления R_0.

Измерение сопротивления путем сравнения с образцовым сопротивлением:

при последовательном соединении сопротивлений

$$R_x = R_0 \frac{U_x}{U_0}, \qquad (90)$$

где U_0 — напряжение на потенциальных зажимах образцового сопротивления R_0; U_x — напряжение на потенциальных зажимах измеряемого сопротивления R_x;

при параллельном соединении сопротивлений

$$R_x = R_0 \frac{I_0}{I_x}, \qquad (91)$$

где I_0 и I_x — токи в образцовом и измеряемом сопротивлениях.

Задачи

418. Сопротивление резистора, измеренное методом амперметра и вольтметра, равно 501 Ом. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения, если действительное значение сопротивления резистора $R_д$=500 Ом.

419. Найти сопротивление резистора, если амперметр показал 2 А, вольтметр — 50 В. Сопротивлениями приборов пренебречь (рис. 45, *а*).

420. По условиям предыдущей задачи определить истинное значение сопротивления резистора, учитывая, что сопротивление амперметра 2 Ом.

421. При измерении сопротивления барометра методом амперметра и вольтметра были получены следующие показания приборов: U=10 В; I=0,1 А. Определить сопротивление барометра, если известно, что сопротивление вольтметра R_V =10 кОм, а $R_A \approx 0$ (рис. 45, *б*).

422. Записать такие соотношения между значениями сопротивления резистора, измеренными по схемам на рис. 45 *а*, *б*, и внутренними сопротивлениями приборов, чтобы погрешности измерений были минимальными.

423. Сопротивление резистора, приближенно равное 55 Ом, измеряется методом амперметра и вольтметра. Определить сопротивления приборов (рис. 45, *а*, *б*), если ошибка, обусловливаемая самим методом, не должна превышать 0,25%.

424. Определить сопротивление резистора (рис. 45, *а*, *б*), зная, что амперметр показал ток 2 А, а вольтметр — 120 В, если сопротивление амперметра 0,2 Ом, а вольтметра — 15 кОм.

425. При измерении сопротивления якоря двигателя переменного тока методом амперметра и вольтметра по схеме на рис. 45, *б* приборы показали соответственно 10 А и 3 В. Амперметр имеет сопротивление 0,02 Ом, вольтметр — 9 кОм. Определить относительную погрешность, допускаемую при нахождении сопротивления якоря, если пренебречь сопротивлениями приборов.

426. Чему равна относительная погрешность измерения сопротивления якоря двигателя по условиям предыдущей задачи, если включить амперметр и вольтметр аналогично схеме на рис. 45, *а*?

427. Найти относительную погрешность измерения сопротивления цепи r_R, состоящей из двух последовательно соединенных резисторов $R_1 = 15$ кОм; $R_2 = 10$ кОм, сопротивления которых были измерены с абсолютными погрешностями $\Delta R_1 = 100$ Ом и $\Delta R_2 = 80$ Ом.

428. Объяснить, зависит ли точность измерений в схеме одинарного моста от непостоянства э. д. с. источника питания.

429. Ток в диагонали одинарного моста постоянного тока равен нулю (рис. 46). Сопротивления плеч соответственно равны: $R_2 = 10$ Ом; $R_3 = 20$ Ом; $R_4 = 5$ Ом. Определить R_x.

430. Сопротивления плеч одинарного моста постоянного тока (рис. 46) равны: $R_2 = 20$ Ом; $R_3 = 10$ Ом; $R_4 = 30$ Ом; $R_x = 10$ Ом. Чему равно напряжение U_{CD}, если напряжение питания $U_{AB} = 12$ В?

431. Гальванометр с $R_Г = 5$ Ом, включенный в диагональ измерительного моста (рис. 46), показывает 20 мА. Определить величину R_x, если $R_2 = 20$ Ом; $R_3 = 40$ Ом, $R_4 = 80$ Ом, а $U_{AB} = 20$ В.

432. Чему равно сопротивление R_x (рис. 47, *а*), если при включении вольтметра последовательно с R_x в сеть с напряжением $U_1 = 127$ В его напряжение $U_2 = 120$ В, а сопротивление $R_V = 40$ кОм?

433. Вольтметр с помощью переключателя сначала подключают непосредственно к сети, а затем к той же сети, но последовательно с резистором сопротивлением $R_x = 36$ кОм (рис. 47, *а*). Найти сопротивление вольтметра R_V, если он показывал 120 В, а затем 30 В.

434. Сопротивление измеряется при помощи одного амперметра (рис. 47, *б*). Когда ключ находился в положении 2, ток был равен $I_2 = 0{,}5$ А, а когда ключ перевели в положение 1, то ток оказался равным $I_1 = 0{,}2$ А. Найти величину R_x, если сопротивление прибора $R_A = 0{,}1$ Ом, а $R_0 = 50$ Ом.

435. Определить переходное сопротивление щеточного контакта R_x, если его измеряют методом сравнения с образцовым сопротивлением R_0=50 Ом, а U_0=80 В и U_x=30 В.

436. Чему равно поперечное сечение провода катушки измерительного механизма прибора электромагнитной системы с верхним пределом измерения 300 В, если активное сопротивление катушки R=0,1 Ом, индуктивность L=320 мГ, а допустимая плотность тока j=1 А/мм²? Прибор рассчитан для измерений на частоте f=50 Гц.

437. При испытании межвитковой изоляции катушки стрелка мегомметра остановилась на делении 40 МОм, что составляет 0,4 длины рабочей части шкалы. Определить максимальную абсолютную погрешность измерения сопротивления, если класс точности прибора 1,0.

438. Сопротивление изоляции двухпроводной линии измерялось вольтметром с внутренним сопротивлением 50 кОм. Напряжения между проводами и землей оказались U_1=30 В, U_2=70 В. Рассчитать сопротивление изоляции на землю, если линия работает под напряжением 127 В.

439. Для испытания изоляции антенны один полюс батареи с напряжением 120 В соединили с корпусом антенны, а другой полюс — через миллиамперметр с землей. Каково сопротивление изоляции, если прибор показал ток I=0,01 мА?

440. Можно ли при измерении сопротивлений жидких проводников или проводников, обладающих высокой влажностью (сопротивлений заземлений), пользоваться постоянным током?

441. Схему, изображенную на рис. 48, *а*, применяют для обеспечения контроля за состоянием изоляции проводов сети постоянного или однофазного переменного тока (R —

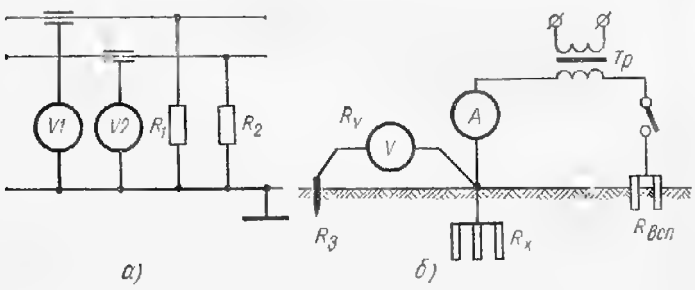


Рис. 48. *а* — к задачам 441, 442, *б* — к задаче 443

сопротивление изоляции). Каковы будут показания вольтметров при неповрежденной и поврежденной изоляции? (Вольтметры одинаковые.)

442. Используя условия предыдущей задачи, определить, на какое напряжение надо выбирать вольтметры, если напряжение между проводами 500 В.

443. На рис. 48, *б* дана схема измерения сопротивления заземляющего устройства R_x. В схеме используется вольтметр, внутреннее сопротивление которого по меньшей мере в сто раз больше сопротивления зонда, т. е. $R_V \geqslant 100\, R_з$. Почему необходимо выполнить такое условие и какой системы вольтметр может быть применен?

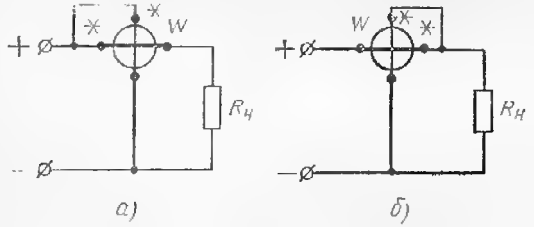
444. Используя условия предыдущей задачи, объяснить, как зависит сопротивление зонда $R_з$ от глубины погружения и влажности грунта.

§ 20. ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ

В цепях постоянного тока мощность измеряется либо методом амперметра и вольтметра (см. рис. 45), либо с помощью электродинамического ваттметра, включенного по одной из схем на рис. 49:

$$P = UI + U_A I;$$
$$P = UI + UI_V, \qquad (92)$$

где P — показания ваттметра; UI — действительное значение потребляемой мощности; U_A — напряжение в последо-



а) *б)*

Рис. 49. Схемы измерения мощности постоянного тока. К задачам 448, 449, 450

вательной цепи ваттметра; I_V — ток, протекающий в цепи параллельной цепи ваттметра.

В цепях однофазного переменного тока активная мощность измеряется при помощи электродинамического или ферромагнитного ваттметра (рис. 49, *а*, *б*).

Измерение реактивной мощности в цепях однофазного переменного тока обычно осуществляется с помощью ваттметра, в котором соответствующее включение параллельной цепи приводит к появлению сдвига на угол 90° между напряжением и током. Ваттметр с указанным включением обмоток называется варметром.

Включение варметра производится по тем же правилам, что и ваттметра.

В четырехпроводных трехфазных цепях переменного тока активная мощность измеряется с помощью однофазных ваттметров W, включенных в каждую фазу (рис. 50):

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = U_A I_A \cos\varphi_A + U_B I_B \cos\varphi_B + U_C I_C \cos\varphi_C, \quad (93)$$

где P_1, P_2, P_3 — показания ваттметров; I_A, I_B, I_C — фазные токи; $\cos\varphi_A$, $\cos\varphi_B$, $\cos\varphi_C$ — коэффициенты мощности.

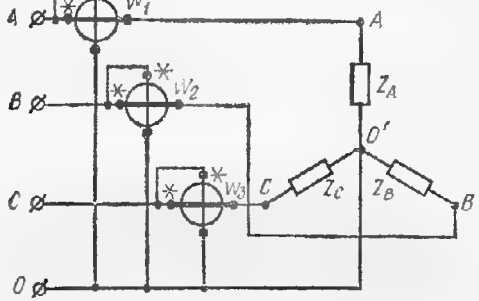


Рис. 50. Схемы измерения активной мощности в трехфазной цепи. К задаче 453

Активная мощность в трехпроводных цепях переменного тока измеряется с помощью ваттметра, включенного в одну из фаз, если нагрузки фаз симметричны (рис. 51):

$$P = 3P_\Phi = 3U_\Phi I_\Phi \cos\varphi, \quad (94)$$

где P_Φ — активная мощность одной фазы; U_Φ — фазное напряжение; I_Φ — фазный ток; φ — угол сдвига фаз между фазным напряжением и током.

Реактивная мощность в трехпроводных цепях переменного тока определяется методом двух ваттметров (рис. 52):

$$Q = \sqrt{3}\,(P_1 - P_2) = \sqrt{3}\,U_Л I_Л \sin\varphi, \quad (95)$$

где $U_Л$ и $I_Л$ — линейные напряжение и ток.

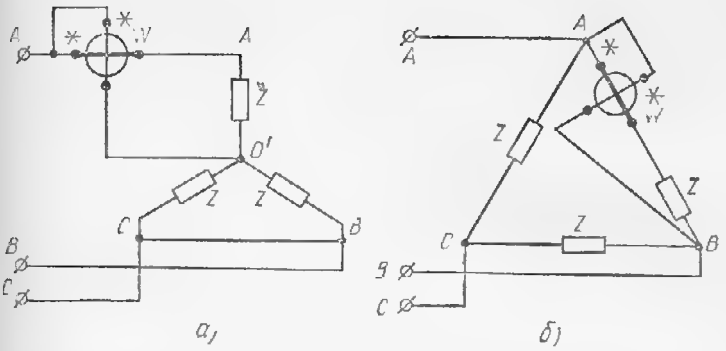


Рис. 51. Схема измерения активной мощности в трехфазной цепи при симметричной нагрузке фаз потребителя:
а — соединение звездой, *б* — соединение треугольником.
К задаче 454.

В цепях трехфазного тока с применением измерительных трансформаторов тока и напряжения мощность определяется следующим образом:

$$P_1 = k_{nI} k_{nU} P, \qquad (96)$$

где P_1 — искомая мощность первичной цепи; P — показание ваттметра.

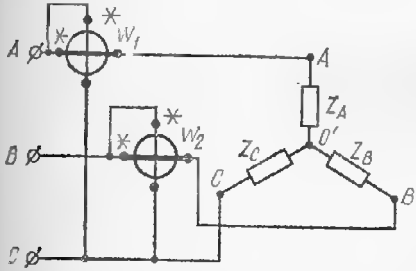


Рис. 52. Схема измерения реактивной мощности в трехфазной цепи. К задаче 455

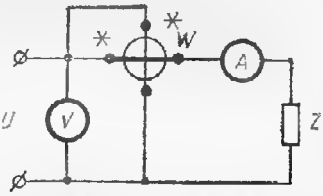


Рис. 53. Схема измерения по методу амперметра, вольтметра и ваттметра. К задачам 481, 482, 483, 484

Коэффициент мощности в цепях переменного тока вычисляется с помощью амперметра, вольтметра и ваттметра по схеме на рис. 53:

$$\cos\varphi = \frac{P}{UI}, \qquad (97)$$

где P, U и I — показания ваттметра, вольтметра и амперметра. Энергия в цепях переменного тока измеряется с помощью электрических счетчиков, которые характеризуются следующими параметрами:

номинальной постоянной счетчика

$$c_{\text{н}} = \frac{W}{n_{\text{сч}}} \text{ [Вт·с/об]}, \qquad (98)$$

где W — энергия, регистрируемая счетчиком за определенное число оборотов; $n_{\text{сч}}$ — число оборотов счетчика;

действительной постоянной счетчика

$$c = \frac{Pt}{n_{\text{сч}}} \text{ [Вт·с/об]}, \qquad (99)$$

где $n_{\text{сч}}$ — число оборотов, которое сделал диск счетчика за время испытания или работы; P — мощность, потребляемая электрической цепью; t — время испытания или работы;

абсолютной погрешностью счетчика

$$\Delta c = c_{\text{н}} - c; \qquad (100)$$

относительной погрешностью счетчика

$$\gamma = \frac{c_{\text{н}} - c}{c} \cdot 100\%. \qquad (101)$$

Задачи

445. Найти мощность, потребляемую цепью постоянного тока, если показания амперметра и вольтметра (рис. 45) соответственно равны 3,5 А и 28 В.

446. Ваттметр со шкалой на 50 делений имеет переключатель токовой обмотки на 2,5 А и 5 А. Определить цену деления и чувствительность при положении переключателя на 2,5 А и напряжениях последовательной цепи ваттметра 50, 100 и 200 В.

447. Исходя из условий предыдущей задачи, определить цену деления и чувствительность ваттметра при положении переключателя на 5 А.

448. Для измерения мощности потребителя постоянного тока с номинальным напряжением 220 В использовался электродинамический ваттметр со следующими параметрами: $U_{\text{н}}$=220 В; $I_{\text{н}}$=5 А; сопротивление последовательной обмотки 0,2 Ом. Определить мощность потребителя, используя для измерения схему (рис. 49, *а*).

449. Какая мощность потребителя (рис. 49, *б*) при условии, что применяется тот же ваттметр, что и в предыдущей

задаче, причем номинальный ток в параллельной цепи ваттметра I_V=50 мА?

450. На основании двух предыдущих задач определить, в какой схеме будет наименьшая относительная погрешность измерения при протекании максимального тока.

451. Прибор для измерения мощности в электрической цепи имеет линейную шкалу измерения. Какова сила тока в приборе при мощности P_2=30 Вт, если при P_1=10 Вт сила тока I_1=2 мА? Напряжение на приборе считать неизменным.

452. Чему равна наибольшая возможная относительная погрешность γ_P при измерении мощности в цепи постоянного тока косвенным методом (при помощи амперметра и вольтметра), если погрешность при измерении тока γ_I =3%, а при измерении напряжения γ_U=2,8%?

453. Для измерения мощности в четырехпроводной цепи трехфазного тока (рис. 50) были использованы ваттметры, показания которых в каждой фазе равнялись соответственно 20, 25 и 38 Вт. Определить активную мощность в цепи.

454. Ваттметр, включенный по схемам на рис. 51, показал 60 Вт. Какова активная мощность, потребляемая нагрузками фаз, в обеих схемах?

455. В трехпроводную цепь включены два ваттметра (рис. 52). Найти реактивную мощность цепи, если показания первого прибора 80 Вт, а второго в два раза меньше.

456. Угол сдвига фаз между током в одной цепи и напряжением в другой равен $^1/_4$ периода. Каким образом это можно проверить, имея ваттметр, если обе цепи электрически независимы друг от друга и частота токов в них одинакова?

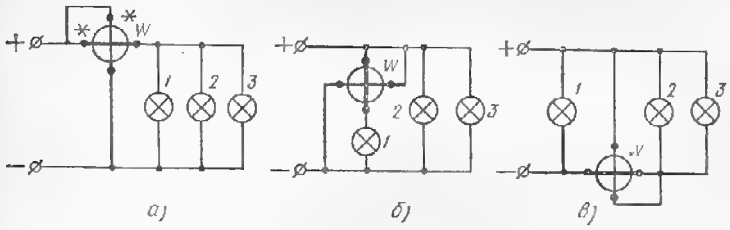


Рис. 54. К задаче 457

457. В электрические цепи (рис. 54, *а*, *б*, *в*) включен ваттметр. Мощность каких ламп измеряет ваттметр и как изменятся его показания, если лампу *3* отключить?

458. Включить в цепь (рис. 55, *а*) ваттметр так, чтобы он измерял мощность: а) резистора R_1; б) двух резисторов R_2 и R_3; в) двух резисторов R_1 и R_2.

459. Что покажет ваттметр, включенный по схеме на рис. 55, *б*?

460. Ваттметр включен через измерительные трансформаторы тока 150/5 и напряжения 800/100. Определить мощность, потребляемую цепью нагрузки, если ваттметр показывает 300 Вт.

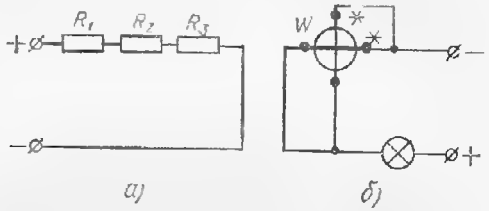


Рис. 55. *а* — к задаче 458, *б* — к задаче 459

461. Число делений шкалы ваттметра 100. Предел измерения по напряжению расширен с помощью добавочного сопротивления до 200 В. Чему равна цена деления ваттметра, если токовая обмотка включена через трансформатор тока 200/5?

462. В сеть однофазного тока через трансформатор тока 300/5 и трансформатор напряжения 8000/100 включены амперметр, вольтметр и ваттметр. Начертить схему измерения и определить показания всех приборов, если известно, что ток в цепи 150 А, напряжение 4000 В и коэффициент мощности $\cos\varphi=0{,}7$.

463. Ваттметр, токовая обмотка которого включена через трансформатор тока 100/5, показывает мощность $P_2=300$ Вт. Найти активную мощность P_1.

464. Каков коэффициент мощности, если показания включенных в цепь амперметра, вольтметра и ваттметра были соответственно равны 4 А, 80 В, 200 Вт?

465. Определить энергию, регистрируемую счетчиком за 20 оборотов, если номинальная постоянная счетчика $c_н=1200$ Вт·с/об.

466. Известно, что мощность электротехнического устройства $P=2$ кВт. Какое время работал счетчик, если он сделал 40 оборотов, а действительная постоянная $c=1400$ Вт·с/об?

467. Диск счетчика делает 94 оборота за 10 мин. Нагрузкой являются три параллельно включенные лампы равной мощности. Вычислить мощность каждой лампы, если со-

гласно надписи на счетчике 2500 оборотов его диска соответствуют 1 кВт·ч.

468. Номинальная постоянная счетчика $c_н = 1300$ Вт××с/об. Определить абсолютную и относительную погрешности счетчика, если при его работе в течение 10 с мощность составляла 1,32 кВт, а его диск сделал 10 оборотов.

469. Используя условия предыдущей задачи, узнать, на какую величину надо умножить показания счетчика для получения истинного расхода энергии.

470. Расход энергии, показанный счетчиком, составил 800 кВт·ч. Как выяснилось при проверке, счетчик давал относительную погрешность в среднем 1,8% в сторону увеличения фактического расхода энергии. Найти действительный расход энергии.

471. Счетчик постоянного тока подвергался поверке при неизменном напряжении 220 В и токе 5 А. В течение пяти равных интервалов времени числа оборотов счетчика были соответственно равны: 201, 201, 202, 198, 198. Определить постоянную счетчика c при условии, что длительность каждого интервала времени составила 6 мин.

472. Составить принципиальную схему включения счетчика в электрическую сеть переменного тока, пояснив место подсоединения счетчика.

§ 21. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Индуктивность и емкость реактивных элементов можно измерять:

методом амперметра и вольтметра (см. рис. 45, *а*, *б*)

$$L_x = \frac{U}{\omega I};$$

$$C_x = \frac{I}{\omega U}, \qquad (102)$$

где U, I — показания приборов;

при помощи мостовой схемы (см. рис. 46)

$$L_x = L_з \frac{R_2}{R_1};$$

$$C_x = C_з \frac{R_1}{R_2}, \qquad (103)$$

где $L_з$ — индуктивность образцовой катушки; $C_з$ — емкость образцового конденсатора; R_2 и R_1 — регулируемые активные сопротивления.

Следует отметить, что указанные способы измерения применимы, если активными сопротивлениями реактивных элементов можно пренебречь.

Измерение активного, реактивного и полного сопротивлений элементов цепей переменного тока осуществляется при помощи амперметра и вольтметра, включенных по схеме (см. рис. 53):

$$R = \frac{P}{I^2};$$

$$L_x = \frac{1}{\omega I^2}\sqrt{U^2I^2 - P^2};$$

$$C_x = \frac{I^2}{\omega\sqrt{U^2I^2 - P^2}}; \qquad (104)$$

$$z = \frac{U}{I},$$

где P — показание ваттметра.

Задачи

473. Определить индуктивность катушки, которая измерялась методом амперметра и вольтметра, если показания приборов были соответственно равны: 0,2 А и 30 В. Частота напряжения 400 Гц.

474. Используя условия предыдущей задачи, найти относительную погрешность, допущенную при измерении, если активное сопротивление катушки 15 Ом.

475. Конденсатор подключен к источнику переменного напряжения 20 В и частотой 50 Гц. Чему равна емкость конденсатора, если амперметр (рис. 45, *а*) показывает 0,1 А?

476. Рассчитать индуктивность катушки L_x (рис. 46), если индуктивность образцовой катушки 40 мГ, а равновесие моста достигается при соотношении $\frac{R_2}{R_1}=2$.

477*. По условию предыдущей задачи найти абсолютную и относительную погрешности, допущенные при измерении, если активные сопротивления катушек $R_x=R_3=2$ Ом. Питание моста осуществляется источником переменного напряжения с частотой 50 Гц.

478. Емкость образцового конденсатора $C_3=5$ мкФ. Пользуясь мостовой схемой (рис. 46), определить емкость неизвестного конденсатора C_x при условии, что равновесие моста наступает при $R_2=3{,}5$ кОм и $R_4=1$ кОм.

479. Можно ли применять мостовую схему (рис. 46), если поменять местами L_x (или C_x) с R_4?

480*. В схеме (рис. 56) равновесие моста наступает, когда: а) переключатель в положении 1 и R_1=3,5 кОм; R_2=2 кОм; б) переключатель в положении 2 и R_1=0,3 кОм; R_2=2 кОм. Вычислить активное сопротивление и индуктивность катушки, если L_0=50 мГ, R_0=5 Ом, R=80 Ом, а частота напряжения 50 Гц.

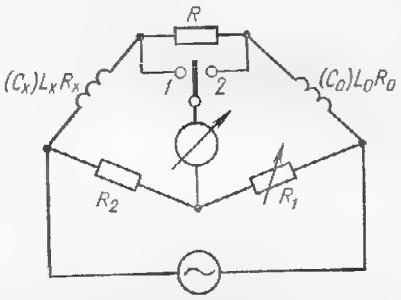


Рис. 56. К задаче 480

481. Чему равны активное сопротивление и индуктивность катушки, подключенной к сети переменного напряжения с частотой 50 Гц (рис. 53), если показания амперметра, вольтметра и ваттметра составили соответственно: 0,2 А, 32 В, 5,8 Вт?

482. Найти емкость конденсатора в цепи переменного тока с частотой 50 Гц, если показания амперметра, вольтметра и ваттметра (рис. 53) были соответственно равны: 0,1 А, 55 В, 5 Вт.

483. По показаниям приборов в схеме на рис. 53 (10 мА, 40 В, 3 мВт) рассчитать активное и полное сопротивления катушки, а также ее индуктивность, если частота напряжения 400 Гц.

484. Определить активное, емкостное и полное сопротивления потребителя энергии, если при измерении по схеме на рис. 53 показания приборов были соответственно равны: 2 А, 100 В, 180 Вт.

485*. Катушка подключена к источнику переменного напряжения 50 В, частота которого меняется в диапазоне 1—10 кГц. Вычислить активное сопротивление и индуктивность катушки, если на частотах f_1=3 кГц и f_2=7 кГц показания миллиамперметра, включенного последовательно с катушкой, были соответственно равны: 100 мА и 50 мА.

§ 22. ИЗМЕРЕНИЕ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Неэлектрические величины (температуру, давление, влажность, скорость потока и т. д.) измеряют с помощью

датчиков, в которых измеряемая величина преобразуется в электрический сигнал.

Датчики по принципу действия разделяются на генераторные и параметрические. К генераторным относятся датчики, в которых измеряемая неэлектрическая величина преобразуется в э. д. с.: индукционные, пьезоэлектрические, термоэлектрические, основанные на эффекте Холла и фотоэлектрические. К параметрическим относятся датчики, в которых под воздействием измеряемой величины изменяется один или несколько параметров электрической цепи, в которую они включены: реостатные, проволочные, индуктивные, емкостные и др.

Датчики характеризуются статическими характеристиками, которые представляют собой зависимости изменения выходных величин от изменения входных.

Чувствительность датчиков определяется так:

$$s_д = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \qquad (105)$$

где Δy — изменение выходной величины датчика; Δx — изменение входной величины.

Задачи

486. Поворот стрелки манометра с круглой шкалой на 90° соответствует изменению давления от 10 до 100 Па. Определить чувствительность прибора в следующих единицах: град/Па, 1/Па.

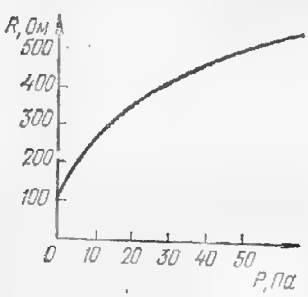


Рис. 57. К задаче 488

487. Температурам 5, 10, 15, 20, 25 и 30°С соответствуют следующие сопротивления платиновой нити: 100, 120, 150, 200, 270 и 400 Ом. Построить статическую характеристику и найти сопротивление нити при 17, 23 и 28°С.

488. На рис. 57 представлена статическая характеристика датчика давления. Начертить зависимость чувствительности датчика $s_д = f(P)$, взяв $P = 10, 20, 30, 40$ и 50 Па.

489. При изменении скорости вращения якоря индукционного тахометра от 100 до 300 об/мин напряжение на его выходе изменяется линейно от 5 до 10 В. Какова чувстви-

тельность датчика и абсолютная погрешность измерения, если абсолютная погрешность измерительного прибора 0,1 В?

490*. Статическая характеристика пьезоэлектрического датчика давления представляет собой квадратную параболу $E=kP^2$ в диапазоне давлений 100—1000 Па. Найти чувствительность датчика при 200, 500 и 700 Па, взяв $\Delta P=20$ Па, если $k=0{,}01$ В/Па^2.

491. Чувствительный элемент пьезоэлектрического датчика давления представляет собой пластину шириной 10 мм и длиной 20 мм. Определить э. д. с., возникающую в результате воздействия силы 10^{-2} Н, если чувствительность датчика 0,05 В/Па.

492. Какое необходимо количество последовательно включенных термоэлектрических датчиков, чтобы ток в цепи индикатора был не менее 10 мА при температуре 20°С, если э. д. с. каждого датчика 1 В, а внутреннее сопротивление 80 Ом? Сопротивление индикатора 100 Ом.

493. В качестве индикатора термоэлектрического датчика применяется магнитоэлектрический милливольтметр со шкалой, рассчитанной на 100 мВ, и внутренним сопротивлением 1 кОм. Какое должно быть сопротивление шунта, чтобы при температуре 50°С стрелка отклонялась на всю шкалу, если чувствительность термобатареи датчика 20 мВ/град?

494*. На рис. 58 показана схема измерения угла поворота заслонки с помощью датчика Холла. Построить статическую характеристику датчика, учитывая, что его э. д. с. пропорциональна составляющей вектора напряженности, перпендикулярной поверхности датчика.

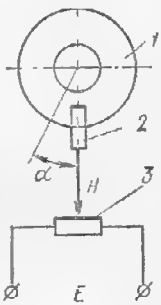


Рис. 58. К задаче 494.

1 — заслонка, *2* — постоянный магнит, *3* — датчик Холла

495. По условиям предыдущей задачи найти э. д. с. при углах $\alpha=10$, 30, 75, 140 и 290°, если при $\alpha=0$ $E=1$ В. При каких углах поворота α (рис. 58) э. д. с. на выходе примет отрицательные значения? Объяснить физический смысл отрицательного знака э. д. с.

496. На рис. 59 представлена схема измерения уровня с помощью трех пар излучатель — фотоэлемент. Построить статическую характеристику датчика при последовательном подключении фотоэлементов к индикатору, если $E_1=E_2=E_3=E$ и $R_{вн}\to 0$.

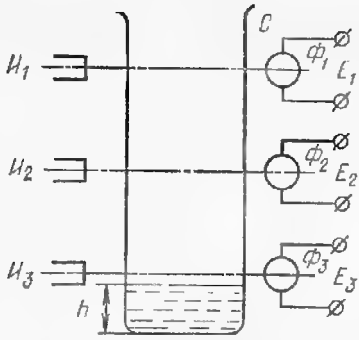


Рис. 59. К задаче 493

497. По условиям предыдущей задачи найти ток в цепи, если $E=1{,}5$ В, $R_н=1$ кОм, а $R_{вн.ф}=100$ Ом, при перекрытии фотосвязей излучателя и фотоэлемента каждого уровня.

498. Генераторный датчик неэлектрической величины подключен к нагрузочному сопротивлению $R_н=1$ кОм. Определить приращение тока в цепи при изменении э. д. с. на 100 мВ, если $R_{вн}=0{,}6$ кОм.

499. На рис. 60 приведена принципиальная схема реостатного датчика угла поворота, сопротивление которого при изменении угла от 0 до 180° линейно меняется от 10 до 1 кОм. Построить статическую характеристику датчика, если в качестве индикатора взят вольтметр с $R_V=$ $=10$ кОм, а $E=10$ В.

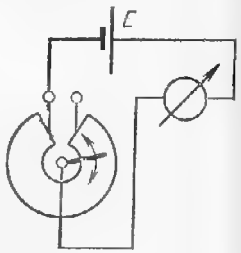


Рис. 60. К задаче 499

500. Найти зависимость полного сопротивления индуктивного датчика перемещения от индуктивности катушки, изменяющейся от 0,1 до 1,1 мГ при передвижении стержня на 10 мм. Активное сопротивление катушки 10 Ом, частота переменного напряжения 50 Гц.

501. Емкостный датчик уровня включен параллельно конденсатору резонансного контура, имеющего параметры $C=10$ мкФ и $L=0{,}1$ Г. Контур подключен к сети переменного тока частотой $f=50$ Гц. При какой величине емкости датчика в цепи возникает резонанс на указанной частоте?

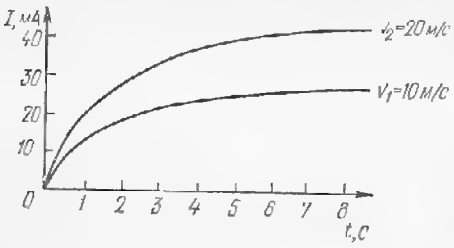


Рис. 61. К задаче 502

502. На рис. 61 показаны графики изменения тока в нагрузке датчика скорости потока от времени. Определить время измерения при скоростях v_1 и v_2 и чувствительность датчика.

ГЛАВА VI
ТРАНСФОРМАТОРЫ

§ 23. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Трансформатор представляет собой статический электромагнитный аппарат переменного тока, предназначенный для преобразования электрической энергии одного напряжения в электрическую энергию другого напряжения.

Величины э. д. с. E_1 и E_2, индуцированные в первичной и во вторичной обмотках, измеряются в вольтах и могут быть подсчитаны по формулам:

$$\begin{aligned} E_1 &= 4{,}44 f \omega_1 \Phi_m; \\ E_2 &= 4{,}44 f \omega_2 \Phi_m, \end{aligned} \tag{106}$$

где f — частота переменного тока Гц; ω_1 и ω_2 — число витков первичной и вторичной обмоток; Φ_m — амплитудное значение магнитного потока, Вб.

Коэффициент трансформации представляет собой отношение напряжений на зажимах первичной и вторичной обмоток трансформатора:

$$k_1 = \frac{\omega_1}{\omega_2} \simeq \frac{U_1}{U_2}. \tag{107}$$

Коэффициент полезного действия трансформатора определяется по формуле

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_к + P_x}, \tag{108}$$

где P_2 — мощность, потребляемая нагрузкой трансформатора; $P_к$ — мощность потерь в трансформаторе в режиме короткого замыкания; P_x — мощность потерь в трансформаторе в режиме холостого хода.

Полную мощность, потребляемую трансформатором при номинальной нагрузке, находят по формуле

$$S_н = U_{н1} I_{н1} \ [BA], \tag{109}$$

где $U_{н1}$ и $I_{н1}$ — номинальные напряжение и ток первичной обмотки.

Полезная мощность, потребляемая нагрузкой, связана с полной номинальной мощностью следующей зависимостью:

$$P_2 = \beta_т S_н \cos \varphi_2, \tag{110}$$

где $\beta_т$ — коэффициент нагрузки трансформатора; φ_2 — угол сдвига фаз между током и напряжением вторичной обмотки.

Величину коэффициента нагрузки можно определить так:

$$\beta_т = \frac{I_1}{I_{н1}}, \qquad (111)$$

где I_1 — ток первичной обмотки при выбранной нагрузке. Коэффициент полезного действия трансформатора достигает максимального значения, когда мощность потерь в режиме холостого хода равна мощности потерь в режиме короткого замыкания.

Если известен коэффициент нагрузки трансформатора, то его к. п. д. можно определить по следующей формуле:

$$\eta = \frac{\beta_т S_н \cos \varphi_2}{\beta_т S_н \cos \varphi_2 + P_x + \beta_т^2 P_{кн}}, \qquad (112)$$

где $P_{кн}$ — мощность потерь в меди при номинальном токе. Максимальное значение к. п. д. соответствует следующему значению коэффициента нагрузки:

$$\beta_т = \sqrt{\frac{P_x}{P_{кн}}}. \qquad (113)$$

Задачи

503. Какие физические явления могут одновременно иметь место в сердечнике трансформатора?

504. Почему сердечник трансформатора набирают из стальных изолированных пластин?

505. Найти э. д. с., индуцированную в первичной обмотке трансформатора с числом витков 1000, если он подключен к сети переменного напряжения с частотой 400 Гц, а магнитный поток в сердечнике 10^{-4} Вб.

506. Выбрать необходимое число витков вторичной обмотки трансформатора, если при магнитном потоке в сердечнике 10^{-3} Вб наведенная в ней э. д. с. должна быть 220 В при частоте 50 Гц.

507. Сердечник набирается из полос электротехнической стали шириной 49 мм и толщиной 0,3 мм. Какое количество полос необходимо для сборки сердечника трансформатора, если техническими условиями задано, что при подключении его к сети переменного напряжения частотой 50 Гц э. д. с. вторичной обмотки должна быть равна 20 В, а число ее витков 60? Сердечник используется в режиме насыщения (см. приложение 4).

508. Чему равен коэффициент трансформации трансформатора, если число витков вторичной обмотки: а) в 10 раз меньше, чем первичной; б) в 5 раз больше, чем первичной?

509. Найти нужный коэффициент трансформации, если напряжение на вторичной обмотке 20 В; 110 В; 330 В; 1100 В. Трансформатор подключен к сети переменного напряжения 220 В.

510. Трансформатор подключен к сети переменного напряжения 220 В с частотой 50 Гц. Определить коэффициент трансформации трансформатора, если в его сердечнике с активным сечением $5 \cdot 10^{-3}$ м² наибольшая магнитная индукция составляла 0,1 Т, а число витков вторичной обмотки 50.

511. Чему равно сечение магнитопровода трансформатора с коэффициентом трансформации $k_2 = 50$, подключенного к сети переменного напряжения 2000 В с частотой 50 Гц, если индукция в магнитопроводе 1 Т, а число витков вторичной обмотки 100?

512. По каким внешним признакам обмотку высшего напряжения можно отличить от обмотки низшего напряжения?

513. Трансформатор подключен к сети переменного напряжения 380 В с частотой 50 Гц. Во вторичной обмотке с числом витков 50 сила тока при нагрузке 20 А. Определить коэффициент трансформации трансформатора, если сердечник изготовлен из электротехнической стали и имеет сечение $2 \cdot 10^{-3}$ м², а длина магнитопровода 0,4 м (см. приложение 4).

514. Используя условия предыдущей задачи, найти коэффициент трансформации трансформатора, учитывая толщину изоляции между пластинами сердечника, которая составляет 10% от его сечения.

515. Какой измерительный прибор необходимо иметь для экспериментального определения коэффициента трансформации? Сколько измерений необходимо сделать?

516. Первичная обмотка трансформатора подключена к сети напряжением 220 В. К трем вторичным обмоткам трансформатора w_1, w_2 и w_3 подключены резисторы с сопротивлениями $R_1 = R_2 = R_3 = 100$ Ом, в которых протекают токи $I_1 = 0{,}55$ А, $I_2 = 1{,}1$ А и $I_3 = 1{,}54$ А. Определить коэффициенты трансформации для трех вторичных обмоток.

517. Определить число витков первичной и вторичной обмоток измерительного трансформатора напряжения $\frac{8000}{100}$ при условии, что допустимое напряжение изоляции на один виток составляет не более 0,8 В.

518. Токоизмерительные клещи представляют собой трансформатор, первичной обмоткой которого является провод. Сколько витков у вторичной (измерительной) обмотки, к

которой подключен амперметр с верхним пределом измерения 5 А? Ток провода равен 500 А.

519. Чему равен к. п. д. трансформатора, если общие потери составляют 10% от мощности, потребляемой нагрузкой?

520. Для питания схемы установлен трансформатор, во вторичной обмотке которого напряжение 6,3 В и ток 0,3 А. Приняв к. п. д. 0,98, найти номинальную мощность и коэффициент трансформации трансформатора, если он подключен к сети переменного напряжения 220 В.

521. Определить номинальную мощность трансформатора, подключенного к сети переменного напряжения 2000 В, если ток во вторичной обмотке при нагрузке 50 А. Коэффициент трансформации трансформатора 75, к. п. д. 0,95.

522. Трансформатор с номинальной мощностью 2 кВА работает от переменного напряжения 220 В. Ко вторичной обмотке подключена нагрузка, ток в первичной обмотке которой равен 8 А. Найти мощность, потребляемую нагрузкой, если $\cos\varphi=0{,}7$; 0,85; 0,97.

523. Мощность потерь трансформатора в режиме холостого хода составляет 180 Вт, в режиме короткого замыкания — 600 Вт. Вычислить к. п. д. трансформатора в режиме нагрузки, если коэффициент мощности его в этом режиме 0,87, а полная мощность нагрузки 20 кВА.

524. Трансформатор с номинальной мощностью 10 кВА подключен к сети переменного напряжения 1200 В. Найти полезную мощность, потребляемую нагрузкой, при подключении которой ток в первичной обмотке равен 6 А. Коэффициент мощности вторичной цепи 0,86.

525. Трансформатор с номинальной мощностью 2 кВА имеет номинальные напряжения на обмотках $U_{н1}=380$ В и $U_{н2}=27$ В. К. п. д. трансформатора при коэффициенте мощности вторичной цепи, равном 0,8, составляет 97%. Определить поминальный ток в первичной обмотке трансформатора, а также мощности, потребляемые нагрузкой и трансформатором в поминальном режиме.

526. Трансформатор с поминальной мощностью 1 кВА имеет номинальные напряжения на обмотках $U_{н1}=400$ В и $U_{н2}=50$ В. Мощность потерь в режиме холостого хода 100 Вт, в режиме короткого замыкания 150 Вт. Определить необходимое сечение провода вторичной обмотки, чтобы при поминальной активной нагрузке плотность тока не превышала 4 А/мм². Чему равен к. п. д. трансформатора?

527*. Мощность потерь трансформатора в режиме хо-

лостого хода составляет 300 Вт, а в режиме короткого замыкания — 900 Вт. Построить график зависимости к. п. д. трансформатора от его полезной мощности $\eta=f(P_2)$ при номинальной нагрузке, если коэффициент мощности 0,85.

528*. Конденсатор емкостью 250 мкФ подсоединен параллельно трансформатору, потребляющему активную мощность 2 кВт. Чему равен коэффициент мощности трансформатора, если коэффициент мощности всей цепи 0,8? Трансформатор подключен к сети переменного напряжения с частотой 50 Гц. Напряжение вторичной стороны 0,2 кВ.

529*. Номинальная мощность трансформатора 32 кВА, мощность потерь в режиме холостого хода 200 Вт, мощность потерь в меди при номинальном токе 600 Вт. Определить коэффициент нагрузки трансформатора, если при активной нагрузке его к. п. д. равен 95%.

530. Как изменится ток первичной обмотки трансформатора с номинальной мощностью $S_н=0{,}8$ кВА, подключенного к сети переменного напряжения 380 В, если коэффициент мощности вторичной стороны $\cos\varphi$ изменился от 0,8 до 0,95, а мощность, потребляемая нагрузкой, равна 620 Вт?

531. Используя условия предыдущей задачи, определить изменение коэффициента нагрузки трансформатора.

532. Мощности потерь трансформатора с номинальной мощностью $S_н=2{,}5$ кВА равны: $P_x=80$ Вт и $P_{кн}=120$ Вт. Найти η_m и полезную мощность, потребляемую нагрузкой с $\cos\varphi_2=0{,}87$ в режиме, соответствующем максимальному к. п. д.

533. Во время работы трансформатора вследствие обрыва заземления внутри его прослушивается потрескивание. Каким физическим явлением это объясняется? (Других неисправностей не обнаружено.)

534. Какие неисправности могут вызвать понижение напряжения на вторичной обмотке трансформатора?

535. В чем заключаются преимущества понижающего трансформатора по сравнению с делителем напряжения?

§ 24. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ОДНОФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В режиме холостого хода уравнения трансформатора принимают вид:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I}_1 Z_1 - \dot{E}_1; \\ \dot{U}_2 &= \dot{E}_2; \\ \dot{I}_2 &= 0. \end{aligned} \tag{114}$$

Мощность, потребляемая трансформатором при холостом ходе, расходуется на потери в стали ($P_x \simeq P_{ст}$).

Короткое замыкание трансформатора представляет собой такой режим, когда вторичная обмотка замкнута накоротко, при этом

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I}_1 Z_1 - \dot{E}_1; \\ \dot{U}_2 &= 0; \\ \dot{I}_2 &= \frac{\dot{E}_2}{Z_2}. \end{aligned} \tag{115}$$

В уравнениях (114) и (115) величины векторов полных сопротивлений первичной и вторичной цепей Z_1 и Z_2 определяются по формулам:

$$z_1 = \sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2};$$
$$z_2 = \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2},$$

где R_1, R_2 — активные сопротивления обмоток; L_1, L_2 — индуктивности рассеяния обмоток.

Мощность, потребляемая трансформатором при коротком замыкании, расходуется в обмотках трансформатора ($P_к \simeq \simeq P_м$).

Напряжение на первичной обмотке, при котором в режиме короткого замыкания в обмотках протекают токи, равные номинальным, называется напряжением короткого замыкания $U_к$. Это напряжение обычно указывается в процентном отношении к номинальному напряжению:

$$u_к = \frac{U_к}{U_{н1}} \cdot 100\%. \tag{116}$$

При нагруженном трансформаторе уравнения трансформатора имеют вид:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I}_1 Z_1 - \dot{E}_1; \\ \dot{U}_2 &= \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2; \\ \dot{U}_2 &= \dot{I}_2 Z_н, \end{aligned} \tag{117}$$

где $Z_н$ — вектор полного сопротивления нагрузки.

У нагруженного трансформатора изменение напряжения на вторичной обмотке характеризуется следующей относительной величиной:

$$\Delta u = \frac{U_{2x} - U_2}{U_{2x}} \cdot 100\%, \tag{118}$$

где U_{2x} — напряжение на вторичной обмотке трансформатора в режиме холостого хода; U_2 — напряжение на вторичной обмотке трансформатора в режиме нагрузки.

Изменение напряжения на вторичной обмотке трансформатора связано с безразмерным напряжением короткого замыкания следующей зависимостью:

$$\Delta u = \beta_т (u_{ка} \cos \varphi_2 + u_{кх} \sin \varphi_2), \qquad (119)$$

где $u_{га}$ и $u_{кх}$ — активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания.

Рис. 62. Схема передачи электроэнергии на расстояние при помощи трансформаторов. К задаче 562

Схема включения трансформаторов при передаче электроэнергии на расстоянии приведена на рис. 62. Повышающий трансформатор *Тр1* подключен вторичной стороной к линии передачи, а трансформатор *Тр2* понижает высоковольтное напряжение до номинального напряжения сети.

Задачи

536. Трансформатор подключен к линии электропередачи напряжением 5000 В. Определить коэффициент трансформации трансформатора, если в режиме холостого хода напряжение на зажимах его вторичной обмотки составляло 100 В.

537. Используя условия предыдущей задачи, найти число витков первичной обмотки, если число витков вторичной обмотки 150.

538. Число витков первичной обмотки трансформатора w_1 1000, вторичной $w_2 = 50$. Определить напряжение холостого хода вторичной обмотки, если трансформатор подключен к источнику переменного напряжения 3000 В.

539. По условиям предыдущей задачи найти ток во вторичной обмотке трансформатора, если при подключении активной нагрузки сила тока в первичной обмотке 10 А. Потерями в трансформаторе пренебречь.

540. Какое количество витков имеют первичная и вторичная обмотки трансформатора, подключенного к сети переменного напряжения 220 В с частотой $f = 50$ Гц, если в

режиме холостого хода напряжение на вторичной обмотке 20 В, а магнитный поток в сердечнике $2 \cdot 10^{-4}$ Вб?

541. В режиме холостого хода ток в первичной обмотке с активным сопротивлением 10 Ом и индуктивностью рассеяния 0,1 Г равен 2,5 А, а мгновенное значение индуцированной э. д. с. $100 \sin (314t - 90°)$ [В]. Найти напряжение на первичной обмотке и коэффициент мощности. Построить векторную диаграмму трансформатора в режиме холостого хода, считая, что векторы $\dot{I}_1$ и $-\dot{E}_1$ взаимно перпендикулярны.

542. Используя условия предыдущей задачи, определить э. д. с., индуцируемую во вторичной обмотке трансформатора, если коэффициент трансформации 50.

543. Какие потери возникнут в трансформаторе, если повреждена изоляция пластин сердечника?

544. Что вызывает деформацию обмоток и разрушение трансформатора при внезапном коротком замыкании вторичной обмотки?

545. Напряжение короткого замыкания составляет 10%. Какое напряжение можно подавать при опыте короткого замыкания, если номинальное напряжение трансформатора 220 В?

546. Мощность потерь в меди трансформатора при номинальном токе 10 А составила 100 Вт. Чему равна мощность потерь в меди при нагруженном трансформаторе, если ток в первичной обмотке а) 5 А; б) 7 А; в) 9 А?

547. В режиме короткого замыкания ток в первичной обмотке с активным сопротивлением 20 Ом и индуктивностью рассеяния 0,3 Г равен 10 А, а мгновенное значение индуцируемой э. д. с. $80 \sin (314\ t - 90°)$ [В]. Найти напряжение на первичной обмотке и коэффициент мощности. Построить векторную диаграмму трансформатора в режиме короткого замыкания, считая, что векторы $\dot{I}_1$ и $\dot{E}_1$ сдвинуты по фазе на 45°.

548. Используя условия предыдущей задачи, рассчитать ток во вторичной обмотке, если коэффициент трансформации трансформатора 50.

549. Какие неисправности могут быть в трансформаторе, если при проведении опыта короткого замыкания потери оказались больше допустимых?

550. Трансформатор работает при номинальной нагрузке 8 ч в сутки, а остальное время — в режиме холостого хода. Определить среднесуточный к. п. д. трансформатора, если

номинальная мощность потребителя составляет 10 кВт, мощность потерь в стали 100 Вт, а мощность потерь в меди 350 Вт.

551. Трансформатор подключен к сети переменного напряжения 380 В. К его вторичной обмотке подсоединена осветительная сеть с $\cos\varphi\simeq 1$, рассчитанная на напряжение 127 В. Чему равен общий нагрузочный ток, если ток в первичной обмотке 5 А?

552. Мощности потерь трансформатора с номинальной мощностью 15 кВА равны: $P_x=200$ Вт и $P_{к.п}=500$ Вт. Определить коэффициент нагрузки, если коэффициент мощности нагруженного трансформатора 0,85, а к. п. д. 93,5%.

553. В трансформаторе с коэффициентом трансформации 50 при подключении нагрузки ток во вторичной обмотке стал 200 А. Найти сечение проводов первичной и вторичной обмоток, если плотность тока в них не должна превышать 10 А/мм^2.

554. Трансформатор подключен к источнику переменного напряжения 220 В. Ток первичной обмотки 20 А. Определить $\cos\varphi_1$, если мощность нагрузки, подключенной ко вторичной обмотке трансформатора, 2 кВт, к. п. д. трансформатора 0,95.

555. Нагрузочный резистор с $R=300$ Ом и катушка индуктивности с $X_L=2$ кОм подключены к трансформатору, который включен в сеть переменного напряжения 127 В. Чему равен ток в первичной обмотке, если к. п. д. $\eta=0{,}92$, а $U_2=24$ В?

556. Как изменится ток в первичной обмотке трансформатора, если сопротивление нагрузки, подключенной ко вторичной обмотке трансформатора, уменьшить вдвое, оставив неизменным коэффициент трансформации ($\eta\simeq 1$, $\cos\varphi_1=\cos\varphi_2\simeq 1$)?

557. Как изменится ток в первичной обмотке трансформатора, если увеличить вдвое коэффициент трансформации, оставив неизменным сопротивление нагрузки ($\eta=1$, $\cos\varphi_1=\cos\varphi_2\simeq 1$)?

558. Трансформатор с номинальной мощностью 40 кВА имеет номинальные напряжения на первичной и вторичной обмотках $U_{н1}=6000$ В и $U_{н2}=400$ В. Определить токи в первичной и вторичной обмотках, если нагрузка трансформатора при коэффициенте мощности $\cos\varphi_2=0{,}9$ потребляет мощность 25 кВт.

559. Напряжение на вторичной обмотке трансформатора, подключенного к сети переменного напряжения 2000 В,

равно 18 В. Чему равно относительное изменение напряжения на вторичной обмотке, если коэффициент трансформации трансформатора 100?

560. В первичной обмотке трансформатора с параметрами $R_1=10$ Ом и $X_{r_1}=30$ Ом номинальные напряжение и ток соответственно равны: 100 В и 1 А. Чему равно относительное изменение напряжения на вторичной обмотке, если при нагрузке ток в первичной обмотке 0,8 А, а коэффициент мощности $\cos\varphi_2=0{,}85$?

561. Используя условия предыдущей задачи, рассчитать, в каком диапазоне изменится напряжение на вторичной обмотке, если коэффициент трансформации трансформатора 75 и он подключен к источнику переменного напряжения 1500 В.

562. На электростанции установлен генератор мощностью 110 кВА с выходным напряжением 220 В. Определить ток в линии передачи без повышающего трансформатора и при применении повышающего трансформатора с коэффициентом трансформации 10^{-3} (рис. 62).

563. Почему при увеличении напряжения в линии передачи создается экономия электроэнергии при передаче на большие расстояния?

564. Почему предохранители рекомендуется ставить в цепь первичной обмотки трансформатора?

§ 25. ТРЕХФАЗНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Обмотки трехфазных трансформаторов могут быть соединены как звездой, так и треугольником, что указывается в маркировке прибора.

Трансформаторы могут быть включены параллельно при двух основных условиях:

$$\begin{aligned} k_{т\,I} = k_{т\,II} = k_{т\,III} = \ \dots \ = k_{т\,n};\\ u_{к\,I} = u_{к\,II} = u_{к\,III} = \ \dots \ = u_{к\,n}. \end{aligned} \qquad (120)$$

Первое условие допустимо нарушать, если разница коэффициентов трансформации не превышает $\pm 0{,}5\%$ от их среднего геометрического значения:

$$\Delta k_т = \frac{k_{т\,I} - k_{т\,II}}{\sqrt{k_{т\,I}\, k_{т\,II}}} \cdot 100\% \leqslant \pm 0{,}5\%. \qquad (121)$$

Кроме того, возможно отклонение напряжений короткого замыкания не более чем на 10% от их среднего арифметического значения.

Нагрузка между трансформаторами, включенными на параллельную работу, распределяется в соответствии со следующим выражением:

$$\frac{P_{2I}}{P_{2II}} = \frac{u_{кII}}{u_{кI}} \cdot \frac{S_{нI}}{S_{нII}}. \qquad (122)$$

Задачи

565. Построить векторные диаграммы э. д. с., индуцируемых в обмотках высокого и низкого напряжения трансформаторов, маркировка которых приведена в задаче № 568.

566. Трехфазный трансформатор с группой соединений обмоток Y/Δ-11 имеет следующие фазные напряжения: U_1=2200 В и U_2=220 В. Определить число витков каждой фазы обмоток высокого и низкого напряжения, если магнитный поток в сердечнике $3 \cdot 10^{-4}$ Вб, а f=50 Гц.

567. Трехфазный трансформатор с номинальной мощностью 50 кВА и группой соединения обмоток Y/Y-0 имеет номинальные фазные напряжения на первичной и вторичной обмотках, соответственно равные 6000 и 200 В. Чему равны номинальные токи и число витков на фазу каждой обмотки, если сечение сердечника трансформатора 10^{-2} м^2, а наибольшая индукция в сердечнике 1,3 Т? Потерями в трансформаторе пренебречь, а f=50 Гц.

568. Трехфазный трансформатор с числом витков на фазу w_1=2000 и w_2=100 подключен к трехфазной сети с линейным напряжением 3000 В. Рассчитать коэффициенты трансформации и вторичные линейные напряжения для соединений обмоток трансформаторов со следующими маркировками: а) Y/Y-0 б) Y/Δ-11 в) Y/Δ-11 г) Y/Y-4.

569. Каким способом нужно соединить обмотки трехфазного трансформатора, подключенного к трехфазной сети с линейным напряжением 6600 В, чтобы при фазном коэффициенте трансформации 30 получить вторичные линейные напряжения 220 В?

570. Решить предыдущую задачу, приняв коэффициент трансформации равным 17.

571. Первичные обмотки одного трехфазного трансформатора соединены звездой, а другого — треугольником. У какого трансформатора должно быть больше витков на

фазу первичной обмотки, чтобы при подключении их к одной и той же трехфазной сети магнитные потоки в сердечниках были одинаковыми?

572. По условиям предыдущей задачи определить, у какого трансформатора сильнее нагреется первичная обмотка.

573. Трехфазный трансформатор с группой соединений обмоток $Y/Y-0$ имеет следующие данные: $S_н$ 20кВА, $P_х$ = =200 Вт, $P_к$=700 Вт. Найти к. п. д. каждой фазы, если коэффициенты мощности при номинальных нагрузках соответственно равны: $\cos\varphi_{нA}$—0,85; $\cos\varphi_{нB}$ —0,81; $\cos\varphi_{нC}$=0,89.

574. Трехфазный трансформатор с номинальной мощностью 3 кВА и группой соединения обмоток Y/Δ имеет номинальные напряжения на первичной и вторичной обмотках $U_{н1}$—6000 В и $U_{н2}$—200 В. Вычислить наибольшее значение к. п. д. и величину активной нагрузки, при которой он получается, если мощность потерь в режиме холостого хода 170 Вт, а в режиме короткого замыкания 550 Вт.

575. Трехфазный трансформатор с группой соединения обмоток $Y/Y-0$ и коэффициентом трансформации 80 подключен к трехфазной сети с $U_л$=12 000 В. Фазные напряжения во вторичных обмотках при симметричной нагрузке равны 127 В. Найти относительные изменения вторичных фазных напряжений.

576. Почему на силовых трансформаторных подстанциях обычно используется не один, а несколько параллельно подсоединенных трансформаторов?

577. Какие причины вызывают возникновение уравнительного тока при параллельном включении трансформаторов? Почему это явление нежелательно?

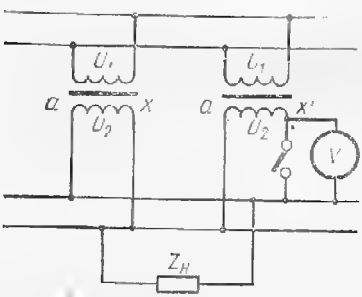


Рис. 63. К задаче 579

578. Что надо практически сделать с трансформаторами, относящимися к 6-й и 0-й группам соединений обмоток для того, чтобы их можно было включить на параллельную работу?

579. Два трансформатора подключены параллельно (рис. 63). Что покажет вольтметр и как по его показаниям

можно судить о правильности включения трансформаторов на параллельную работу?

580*. Коэффициент трансформации одного из трансформаторов 100. В каких пределах может выбираться коэффициент трансформации параллельно подключенного трансформатора?

581. Возможно ли параллельное включение трансформаторов со следующими коэффициентами трансформации: а) $k_{тI}=150$, $k_{тII}=170$; б) $k_{тI}=130$, $k_{тII}=135$; в) $k_{тI}=180$, $k_{тII}=185$?

582. В каком диапазоне отношения $u_{кI}/u_{кII}$ выполняется второе условие параллельного включения трансформаторов?

583*. Написать уравнения, определяющие второе условие параллельного включения трансформаторов. Построить график зависимости $\Delta u_к = f\left(\frac{u_{кII}}{u_{кI}}\right)$ в пределах $0{,}8 \leqslant \frac{u_{кII}}{u_{кI}} \leqslant 1{,}2$.

584. Два трансформатора с одинаковыми номинальными мощностями 50 кВА, но различными напряжениями короткого замыкания ($u_{кI}=5\%$; $u_{кII}=7\%$) включены параллельно. Как распределится нагрузка между ними?

585. Два трансформатора, включенные на параллельную работу, имеют следующие параметры: $S_{нI}=42$ кВА; $u_{кI}=5{,}5\%$, $S_{нII}=32$ кВА; $u_{кII}=5\%$. Как распределится между ними суммарная мощность нагрузки, равная 72 кВт, и насколько будет загружен каждый трансформатор?

586. Трансформатор с номинальной мощностью 4 кВА имеет напряжение короткого замыкания 5%. Определить номинальную мощность второго трансформатора с напряжением 5,3%, чтобы при параллельной работе на нагрузку оба трансформатора были нагружены равномерно.

587. К трехфазному трансформатору с группой соединения обмоток $Y/Y\text{-}0$ подключены три однофазных потребителя, которые образуют симметричную нагрузку. Изменятся ли напряжение и ток одного из потребителей, если два других отключить?

588. Почему при сборке Ш-образных сердечников применяют отдельные полосы холоднокатаной стали, вырезанные вдоль прокатки?

§ 26. АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ

Принципиальная схема однофазного автотрансформатора приведена на рис. 64. Ток во вторичной цепи автотрансформатора состоит из двух слагаемых:

$$I_2 = I_1 + I_3, \qquad (123)$$

где I_3 — ток, протекающий в общей части обмотки.

В понижающем автотрансформаторе ток I_3 совпадает по направлению с током I_2, в повышающем — ток направлен противоположно току I_2.

Коэффициент трансформации определяется по тем же формулам, что и для обычных трансформаторов.

Мощность вторичной обмотки состоит из двух составляющих:

$$S_в = U_2 I_1 + U_2 I_3 = S_э + S_{э.м}, \qquad (124)$$

где $S_{э.м}$ — мощность, передаваемая из первичной цепи во вторичную электромагнитным путем (типовая мощность), ВА; $S_э$ — мощность, передаваемая из первичной цепи во вторичную электрическим путем, ВА.

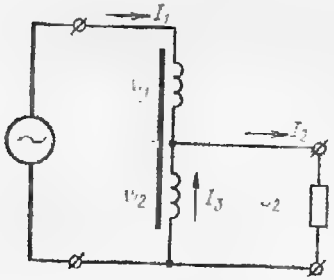


Рис. 64. Схема однофазного автотрансформатора. К задаче 596

Типовая мощность автотрансформатора связана с номинальной мощностью следующей зависимостью:

$$S_{э.м} = k_{эт} S_н, \qquad (125)$$

где $k_{эт}$ — коэффициент выгодности автотрансформатора.

Коэффициент выгодности автотрансформатора определяется через коэффициент трансформации следующей зависимостью:

$$k_{эт} = 1 - \frac{1}{k_т}. \qquad (126)$$

Чем меньше коэффициент выгодности, тем больше экономия в меди обмоток и в стали магнитопровода по сравнению с обычным трансформатором с той же номинальной мощностью. Поэтому автотрансформаторы применяют при коэффициентах трансформации, близких к единице.

Задачи

589. Первичная обмотка автотрансформатора имеет 1000 витков и включена в сеть напряжением 220 В. Какое напряжение можно получить во вторичной обмотке с $w_2 = 10$, 100, 500?

590. Автотрансформатор включен в сеть напряжением 220 В. Ток в первичной обмотке $I_1 = 10$ А. Определить токи

I_2 и I_3 — во вторичной цепи, если $U_2=110$ В. Потерями в автотрансформаторе пренебречь.

591. Однофазный трансформатор заменили автотрансформатором, причем номинальные напряжения в первичной и вторичной обмотках и токи во вторичных обмотках были одинаковы в обоих случаях и соответственно равны: $U_{н1}=220$ В; $U_{н2}=120$ В; $I=10$ А. На сколько уменьшится при замене активное сечение меди обмоток, если допустимая плотность тока 2 А/мм²? Потерями в трансформаторе пренебречь.

592. Для ограничения тока трехфазную индуктивную нагрузку подключают к сети через трехфазный автотрансформатор, коэффициент трансформации которого 2. Найти ток в обмотке высокого напряжения автотрансформатора, если без применения автотрансформатора в нагрузке протекает ток 96 А.

593. Обмотка однофазного автотрансформатора имеет 1800 витков и включена под напряжение 450 В. В каком месте следует сделать вывод для вторичной обмотки, чтобы понизить напряжение до 300 В?

594. Автотрансформатор с числом витков 1000 подключен к сети переменного напряжения 127 В. В каких местах обмотки нужно сделать выводы, чтобы можно было снимать напряжения в диапазонах: от 0 до 10 В; до 25 В; до 75 В; до 100 В; до 125 В; до 150 В? Определить наибольшее суммарное число витков обмоток автотрансформатора.

595. На рис. 65 представлена принципиальная электрическая схема автотрансформатора, которая может быть использована, например, для питания телевизора. Определить показания вольтметра, если число витков первичной обмотки $w_1=400$, а подвижный контакт автотрансформатора устанавливается в положение, при котором число витков обмотки w_2 будет 50, 100, 200, 400. Автотрансформатор подключен к сети переменного напряжения 220 В.

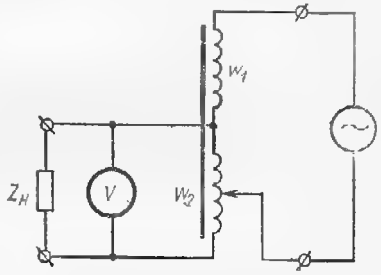


Рис. 65. К задаче 595

596. Автотрансформатор (рис. 64) с числом витков $w_1=2000$ и $w_2=800$ подключен к сети переменного напряжения 380 В. Определить токи I_1, I_2 и I_3, если нагрузкой является резистор с сопротивлением 1 кОм. К. п. д. автотрансформатора 98%.

597. Используя условия предыдущей задачи, найти, в каких пределах может изменяться ток I_2, если напряжение сети колеблется от 350 до 400 В.

598. Определить соотношение витков первичной и вторичной обмоток, при котором типовая мощность автотрансформатора в 2 раза меньше его номинальной мощности.

599*. Построить график зависимости коэффициента выгодности $k_{\text{ат}}=f(k_{\text{т}})$ в диапазоне $1\leqslant k_{\text{т}}\leqslant 10$. Выбрать коэффициент трансформации таким, чтобы коэффициент выгодности автотрансформатора был 0,5.

600. В автотрансформаторе с номинальной мощностью 1 кВА напряжение и ток обмоток соответственно равны $U_2=100$ В и $I_1=8$ А. Определить мощности $S_{\text{э}}$ и $S_{\text{а.м}}$ автотрансформатора и коэффициент трансформации.

601. Начертить электрическую схему трехфазного автотрансформатора с подключением фазовых нагрузок звездой и треугольником.

ГЛАВА VII

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

§ 27. АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Асинхронные электрические машины характеризуются скольжением:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \tag{127}$$

где n_1 — скорость вращения магнитного поля (синхронная скорость вращения), об/мин; n_2 — скорость вращения ротора, об/мин.

Скорость вращения ротора определяется по формуле

$$n_2 = \frac{60 f_1}{p}(1 - s), \tag{128}$$

где f_1 — частота переменного напряжения сети; p — число пар полюсов машины.

Вращающееся магнитное поле пересекает обмотки статора и ротора и индуцирует в них э. д. с., действующие значения которых при неподвижном роторе равны:

$$\begin{aligned} E_1 &= 4{,}44 k_{w1} f_1 w_1 \Phi_m; \\ E_2 &= 4{,}44 k_{w_2} f_1 w_2 \Phi_m, \end{aligned} \tag{129}$$

где w_1, w_2 — число последовательно соединенных витков фаз обмоток статора и ротора; k_{w1}, k_{w2} — обмоточные коэффициенты статора и ротора; Φ_m — магнитный поток вращающегося поля, Вб.

Ток в неподвижном роторе находят из выражения:

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}, \qquad (130)$$

где R_2 — активное сопротивление обмотки неподвижного ротора; X_2 — индуктивное сопротивление рассеяния неподвижного ротора.

Э. д. с., индуцируемая в фазе обмотки вращающегося ротора, выражается формулой

$$E_{2s} = 4{,}44 k_{\omega_2} s f_1 w_2 \Phi_m = s E_2. \qquad (131)$$

Ток во вращающемся роторе определяется так:

$$I_{2s} = \frac{E_2 s}{\sqrt{R_2^2 + (X_2 s)^2}}. \qquad (132)$$

Вращающий момент асинхронного двигателя рассчитывается по формуле

$$M = k_д I_{2s} \Phi_m \cos \varphi_2 \ [\text{Н} \cdot \text{м}], \qquad (133)$$

где $k_д$ — постоянный коэффициент, определяемый конструктивными данными двигателя; φ_2 — угол сдвига фаз между током ротора и его э. д. с.

К. п. д. асинхронного двигателя находят по формуле

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \cdot 100\%, \qquad (134)$$

где P_2 — полезная мощность на валу двигателя, Вт; P_1 — мощность, подводимая к двигателю, Вт; ΣP — суммарная мощность потерь в двигателе, Вт.

Механическая характеристика асинхронных электрических машин $n_2 = f(M)$ при $U_1 = \text{const}$ и $f_1 = \text{const}$.

Задачи

602. Определить величину скольжения асинхронного двигателя, ротор которого вращается со скоростью 2800 об/мин, если синхронная скорость вращения 3000 об/мин.

603. Какова скорость вращающегося магнитного поля асинхронного двигателя, подключенного к сети переменного напряжения с частотой 50 Гц при $p = 2$?

604. При изменении скорости вращающегося магнитного поля асинхронного двигателя в 2 раза скольжение изменилось на 20%. Чему равна первоначальная скорость вращения магнитного поля и скольжение при скорости вращения ротора $n_2 = 1200$ об/мин?

605*. Построить график зависимости $s = f\left(\frac{n_1}{n_2}\right)$ при изменении отношения $\frac{n_1}{n_2}$ от 0,5 до 10. В каких режимах работает асинхронная машина при $\frac{n_1}{n_2} = 0{,}5$ и $\frac{n_1}{n_2} = 1$?

606. Какое число пар полюсов должен иметь асинхронный двигатель, питающийся от сети переменного напряжения с частотой 50 Гц, при скорости вращения магнитного поля статора 600 об/мин?

607. Скорость вращения магнитного поля четырехполюсного асинхронного двигателя 1500 об/мин. Определить угловую скорость вращения поля.

608. При изменении частоты питающего напряжения в 2 раза скорость вращения магнитного поля асинхронного двигателя увеличилась на 500 об/мин. Двигатель имеет четыре пары полюсов. Какова была первоначальная частота питающего напряжения?

609. Используя условия задачи 607, найти угловую скорость вращения ротора, приняв скольжение равным 2,9%.

610. С какой скоростью нужно вращать четырехполюсную асинхронную машину против направления вращения поля статора, чтобы получить $s = -20\%$, если частота питающего напряжения сети 50 Гц?

611. Скольжение четырехполюсного трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором изменяется от 0,3 до 5% при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной. Определить диапазон изменения скорости ротора, если частота питающего напряжения сети 50 Гц.

612. Число витков фазы обмотки статора асинхронного двигателя $w_1 = 90$, ротора $w_2 = 78$, а обмоточные коэффициенты соответственно равны: $k_{об1} = 0{,}95$ и $k_{об2} = 0{,}965$. Вычислить э. д. с., индуцируемые в фазах обмоток статора и ротора двигателя при неподвижном роторе и при вращении его со скольжением 0,022, если магнитный поток $1{,}5 \cdot 10^{-2}$ Вб. Двигатель подключен к промышленной сети переменного тока.

613. Основной магнитный поток трехфазного асинхронного двигателя $1{,}8 \cdot 10^{-2}$ Вб. Э. д. с., индуцируемая в обмот-

ке статора, соединенной звездой, равна 38 В. Определить число витков фазы обмотки статора, если $k_{w1}=0{,}95$, а $f_1=50$ Гц.

614. Найти величину э. д. с., индуцируемую в обмотке неподвижного ротора трехфазного асинхронного двигателя, если частота питающего напряжения сети увеличилась в 1,5 раза при одновременном уменьшении основного магнитного потока в 2 раза, а первоначальная величина э. д. с. $E_2=12$ В.

615. Асинхронный однофазный двигатель с фазовым напряжением 127 В необходимо использовать в цепи, которая питается напряжением 220 В, без изменения числа его оборотов. Какое число витков должна содержать фаза обмотки статора, если прежнее число витков фазы статора 100?

616. Определить индуктивное сопротивление рассеяния неподвижного ротора асинхронного двигателя, если известны следующие величины: R_2 2,5 Ом; $E_2=100$ В; $I_2=18$ А.

617. Чему равно минимальное индуктивное сопротивление рассеяния неподвижного ротора, если ток в роторе не превышает 50 А, $E_2=200$ В; $R_2=0{,}5\ X_2$?

618. Индуктивное сопротивление фазы обмотки неподвижного ротора асинхронного двигателя 1,2 Ом. Вычислить индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки ротора, вращающегося со скольжением 0,032.

619. По условиям задачи 612 определить э. д. с. в фазе ротора, вращающегося со скольжением 4,4% и частоту э. д. с. в роторе.

620. Э. д. с. между кольцами неподвижного ротора восьмиполюсного асинхронного двигателя с фазным ротором равна 300 В при частоте питающего напряжения сети 50 Гц. Рассчитать э. д. с. фазы обмотки ротора при вращении ротора со скоростью 700 об/мин.

621. Активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния фазы неподвижного ротора асинхронного двигателя соответственно равны: $R_2=0{,}45$ Ом и $X_2=19$ Ом. Определить ток в фазе ротора, если при вращении ротора со скольжением 5% в его фазе наводится э. д. с. $E_{2s}=10$ В.

622. По условиям предыдущей задачи найти ток в фазе ротора в момент пуска двигателя.

623. Чему равен вращающий момент асинхронного двигателя при $P_{\text{п}}=2$ кВт, если $\omega=100$, 500, 1000 рад/с?

624. Доказать, что вращающий момент асинхронного двигателя при данном скольжении пропорционален квадрату приложенного к статору напряжения.

625. Максимальный вращающий момент трехфазного асинхронного двигателя $M=3{,}5$ Н·м. Найти M при $R_2=0{,}8$ Ом и $X_{2s}=2{,}3$ Ом[1].

626. Объяснить, почему при пуске асинхронного двигателя, когда э. д. с. и ток в роторе максимальны, не развивается наибольший вращающий момент. Что необходимо сделать, чтобы максимальный вращающий момент развивался в начале пуска?

627. Асинхронный двигатель подключен к трехфазной сети напряжением 220 В с частотой 50 Гц. Определить вращающий момент двигателя, если ток во вращающемся роторе 10 А, а $k_д=150$. Число последовательно соединенных витков фазы обмотки статора $w_1=950$, обмоточный коэффициент $k_{w1}=0{,}92$, $\cos\varphi_2=0{,}8$.

628. Как влияет уменьшение магнитной индукции B по сравнению с оптимальным ее значением на максимальный момент вращения трехфазного асинхронного двигателя?

629. В цепь ротора асинхронного двигателя ввели сопротивление, величина которого больше сопротивления обмотки ротора. Изменится ли при этом скольжение, если момент на валу двигателя считать неизменным?

630. Как изменится ток ротора асинхронного двигателя, если при неизменном моменте на валу двигателя уменьшить напряжение на обмотке статора на 5—10%?

631. Напряжение питающей сети понизилось на 10%. Как изменится вращающий момент асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?

632. Мощность, подводимая к асинхронному двигателю, равна 5 кВт. Определить к. п. д. двигателя, если суммарные потери составляют 800 Вт.

633. Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором потребляет от сети мощность 2,8 кВт при токе $I_1=14{,}7$ А и напряжении $U_1=220$ В. Найти η и $\cos\varphi_1$, если полезная мощность на валу двигателя 2,34 кВт.

634. Найти суммарную мощность потерь, при которой к. п. д. асинхронного двигателя составит не менее 95%, если $P_1=2{,}2$ кВт.

635. Справедлива ли формула (134) для к. п. д. асинхронного двигателя, если он работает в режиме генератора?

636. При увеличении потребляемой мощности асинхронного двигателя в 2,2 раза к. п. д. увеличился на 10%.

---

[1] X_{2s} — индуктивное сопротивление рассеяния вращающегося ротора.

Определить первоначальные значения P_2 и η, если сумма потерь $\Sigma P=0{,}5$ кВт.

637*. Построить график зависимости $\eta=f\left(\frac{\Sigma P}{P_1}\right)$ при изменении аргумента от 0 до 1. Объяснить физический смысл значений η при $\left(\frac{\Sigma P}{P_1}\right)=0$ и $\left(\frac{\Sigma P}{P_1}\right)=1$.

638. При вращении ротора асинхронного двигателя со скоростью $n_2=750$ об/мин подводимая к двигателю мощность составляет $P_1=20$ кВт, а суммарная мощность потерь $\Sigma P=0{,}5$ кВт. Найти скольжение, двигателя и его к. п. д., если $p=3$, а $f=50$ Гц.

639. При каком режиме работы асинхронного двигателя коэффициент мощности статора $\cos\varphi_1$ будет самым низким? Как будет изменяться $\cos\varphi_1$ при увеличении нагрузки двигателя?

640. Определить мощность, подводимую к трехфазному асинхронному двигателю с фазным ротором, а также ток в цепи статора при соединении его обмоток звездой и треугольником, если данные при номинальном режиме работы двигателя следующие: $P_2=6{,}3$ кВт; $U_1=220/380$ В; $n_2=1540$ об/мин; коэффициент мощности 0,69 и $\eta=0{,}79$.

641. Используя условия предыдущей задачи, найти скольжение ротора при номинальном режиме работы, если синхронная скорость 1500 об/мин, и вращающий момент на валу двигателя.

642. В каком асинхронном двигателе — с фазным или короткозамкнутым ротором больше потерь?

643. Объяснить, какие токи являются вторичными в полом роторе малоинерционного асинхронного двигателя.

644. На рис. 66 дана схема пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при переключении обмотки статора со звезды на треугольник. Объяснить, как меняются при этом: напряжение, ток, пусковой момент.

645. Можно ли получить вращающееся магнитное поле в двигателе, подключенном к однофазной сети переменного тока по схеме, изображенной на рис. 67?

646. Образуется ли вращающийся магнитный поток в сердечнике трехфазного трансформатора, первичные обмотки которого соединены звездой и подключены к трехфазной сети?

647. Как определить начало и конец каждой фазы статора при отсутствии маркировки зажимов двигателя?

646. Под действием каких физических сил могут произойти разрывы короткозамыкающих колец беличьего замкнутого ротора двигателя переменного тока?

649. Определить (в аналитической форме) выражение для тока, который будет проходить через тело человека, ка-

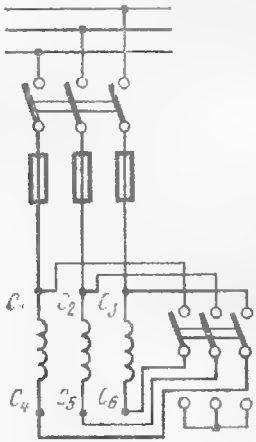


Рис. 66. К задаче 644

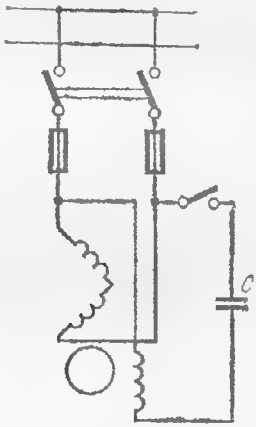


Рис. 67. К задаче 645

сании его к незаземленному корпусу электродвигателя с поврежденной изоляцией одной из фаз.

650. По каким признакам можно узнать, произошло ли короткое замыкание между двумя фазами обмотки статора асинхронного двигателя?

651. Как и почему изменится вид механической характеристики асинхронного двигателя, изображенной на рис. 68 (кривая *1*): а) при уменьшении напряжения питающей сети; б) при уменьшении частоты напряжения питающей сети в 2 раза?

652. По графику механической характеристики асинхронного двигателя (рис. 68) определить, в каком соотношении находятся токи ротора при работе двигателя в режимах, соответствующих точкам А и В.

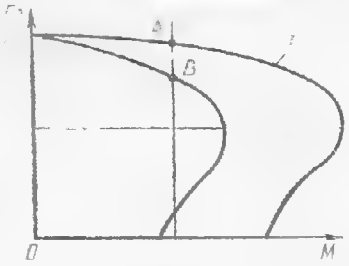


Рис. 68. К задачам 651, 652

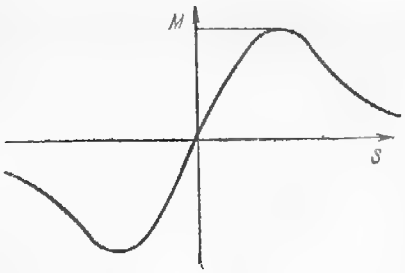


Рис. 69. К задаче 653

653. На рис. 69 дан график зависимости $M = f(s)$. Показать на графике участки, где асинхронная электрическая машина работает: а) в режиме двигателя; б) в режиме генератора; в) в режиме тормоза.

654. В каких пределах может изменяться скорость вращения ротора и величина скольжения трехфазной асинхронной машины, работающей в режиме: а) генератора; б) двигателя; в) тормоза?

655. Начертить простейшую схему реверсирования трехфазного асинхронного двигателя.

656. Одним из способов торможения асинхронных двигателей является динамическое торможение, простейшая схема которого показана на рис. 70. Почему при установке переключателя в положение *2* двигатель останавливается?

657. Какой способ регулирования скорости вращения позволяет изменять скорость вращения ротора n_2 кратно скорости вращения магнитного поля статора n_1?

658. Изменится ли величина намагничивающего тока при работе асинхронного двигателя, если частота питающего напряжения сети уменьшится в 2 раза при условии, что $U_1 = \text{const}$?

659. Используя условия предыдущей задачи, объяснить, как при частотном регулировании скорости вращения асинхронного двигателя обеспечить постоянство момента и тока.

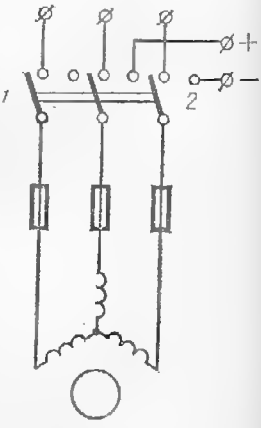


Рис. 70. К задаче 656

660. При регулировании скорости вращения асинхронного двигателя было получено несколько механических характеристик (рис. 71). Каким способом осуществлялось регулирование скорости вращения?

661. Какими способами изменяют величину скольжения при регулировании скорости вращения асинхронного двигателя?

662. Начертить схему регулирования скорости вращения асинхронного двигателя путем изменения сопротивления в цепи ротора.

663. Как влияет изменение магнитного поля в зазоре асинхронного двигателя на скорость его вращения?

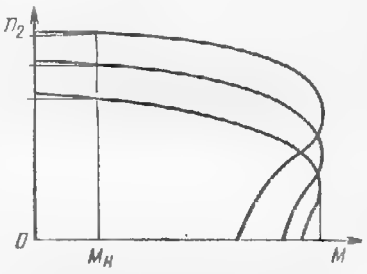


Рис. 71. К задаче 660

§ 28. СИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

В синхронных машинах скорость вращения ротора равна скорости вращающегося магнитного поля статора и определяется следующим выражением:

$$n = \frac{60f}{p}, \qquad (135)$$

где f — частота питающего напряжения сети (для двигателя) или частота э. д. с. (для генератора), Гц.

Величина действующего значения э. д. с., индуцируемой в одной фазе статора при холостом ходе, находится так:

$$E_x = 4{,}44 f w_1 k_{w_1} \Phi_x, \qquad (136)$$

где Φ_x — магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения ротора, Вб; w_1 — число витков одной фазы статора, включенных последовательно.

Мощность, отдаваемая трехфазным генератором при симметричной нагрузке, определяется из выражения:

$$P_2 = 3UI\cos\varphi, \qquad (137)$$

где I, U — фазные ток и напряжение генератора; $\cos\varphi$ — коэффициент мощности.

Уравнение баланса мощностей трехфазного генератора записывается в следующем виде:

$$P_2 = P_{э.м} - P_э = P_{э.м} - 3R_1 I^2, \qquad (138)$$

где $P_{э.м}$ — электромагнитная мощность, $P_э$ — электрические потери в обмотке статора, R_1 — активное сопротивление фазы обмотки статора, Ом.

Вращающий момент генератора имеет вид:

$$M = \frac{P_{э.м}}{\omega}\ [\text{Н}\cdot\text{м}], \qquad (139)$$

где ω — угловая скорость вращения генератора, рад/с.

К. п. д. трансформатора определяется по формуле

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P} \cdot 100\%, \qquad (140)$$

где P_1 — мощность, подводимая к генератору от двигателя, Вт; P_2 — полезная мощность, отдаваемая генератором, Вт; ΣP — суммарная мощность потерь, Вт.

К. п. д. синхронного двигателя находится так:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \cdot 100\%, \qquad (141)$$

где P_1 — мощность, потребляемая двигателем от сети; P_2 — полезная мощность на валу двигателя; ΣP — суммарная мощность потерь в двигателе.

Синхронные электрические машины имеют следующие основные характеристики: а) внешнюю $U = f(I)$ при $I_в = \text{const}$ и $n = \text{const}$; б) регулировочную $I_в = f(I)$ при $n = \text{const}$ и $U = \text{const}$.

Задачи

664. Число пар полюсов синхронного генератора 4. Определить скорость вращения магнитного поля статора, если частота генерируемого тока 50 Гц.

665. Какое количество полюсов должно быть у синхронного генератора с частотой э. д. с. 50 Гц, если ротор его вращается со скоростью 500 об/мин?

666. Генератор переменного тока имеет 10 пар полюсов и вращается со скоростью 120 об/мин. Сколько раз в секунду ток меняет свое направление?

667. Какое число оборотов в минуту можно допустить для ротора турбогенератора, если допустимая окружная скорость 60 м/с, а диаметр ротора 1,2 м?

668. Почему при большой скорости вращения ротор (индуктор) генератора переменного тока делают неявнополюсным, а при небольшой — явнополюсным?

669. Максимальная э. д. с. генератора 112 В, частота 100 Гц и начальная фаза $\frac{\pi}{3}$. Найти аналитическое выражение для мгновенного значения э. д. с., если известно, что она изменяется по синусоидальному закону.

670. Изобразить осциллограмму токов (э. д. с.) на выходе трехфазного генератора при обрыве второй фазы.

671. Найти э. д. с., индуктируемую в одной фазе статора генератора переменного тока при холостом ходе, если $z_1 = 10$; $k_{w1} = 0{,}9$; $f = 50$ Гц, а $\Phi_x = 0{,}008$ Вб.

672. При Φ_x—0,006 Вб в фазе обмотки статора при холостом ходе синхронного генератора индуцируется э. д. с. 20 В с частотой 50 Гц. Каково число витков одной фазы статора, если обмоточный коэффициент $k_{об1}$—0,92?

673. Найти полезную отдаваемую мощность синхронного генератора при симметричной нагрузке, если: а) угол между векторами фазных напряжения и тока равен 90°; б) пренебречь электрическими потерями в обмотке статора.

674. Фазное напряжение синхронного генератора 100 В, а фазный ток 15 А. Определить полезную мощность P_2, если угол сдвига фаз между током и напряжением 60°.

675. Найти электромагнитную мощность синхронного генератора, который при симметричной нагрузке отдает полезную мощность 900 Вт, если фазный ток не превышает 10 А, а активное сопротивление фазы обмотки статора 0,3 Ом. Чему равны электрические потери мощности в обмотке статора?

676. Какой должен быть фазный номинальный ток статора синхронного двигателя, включенного звездой или треугольником, который имеет следующие паспортные данные: $P_{ном}$=20 кВт; $U_{ном}$—380/220 В; $\eta_{ном}$=0,86; $\cos\varphi_{ном}$=—0,84?

677. Во сколько раз увеличатся электрические потери двигателя при замене медного обмоточного провода алюминиевым того же сечения и длины?

678. Мощность, потребляемая нагрузкой трехфазного синхронного генератора, составляет 10 кВт. Определить ток в обмотке статора с активным сопротивлением 4 Ом, если электромагнитная мощность, развиваемая генератором, 9,5 кВт.

679. Полезная мощность, отдаваемая синхронным генератором, составляет 20 кВт. Вычислить величину вращающего момента генератора при угловой скорости вращения 100; 500; 1200 рад/с, если суммарная мощность потерь в генераторе 0,4 кВт.

680. Определить к. п. д. синхронного генератора, если суммарная мощность потерь составляет 5% от полезной мощности, отдаваемой генератором.

681. Суммарная мощность потерь в синхронном двигателе 0,1 кВт. Какую мощность потребляет двигатель от сети, если его к. п. д. равен 98%?

682. При изменении полезной мощности, потребляемой нагрузкой синхронного генератора, на 1 кВт его к. п. д. увеличился на 2%. Каковы первоначальные значения к. п. д.

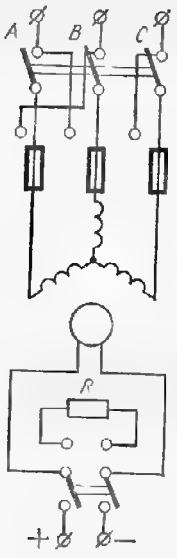


Рис. 72. К задачам 685, 690

и подводимой к генератору мощности, если суммарная мощность потерь составляет 0,5 кВт.

683. Используя условия задачи 679, определить значения вращающего момента и угловой скорости вращения вала нагрузки, подключенного к валу двигателя через редуктор с передаточным числом, равным 100.

684. Почему синхронный двигатель без дополнительной пусковой обмотки не развивает на валу пусковой момент?

685. Для чего во время запуска синхронного двигателя обмотка возбуждения замыкается на сопротивление R (рис. 72)?

686. Как определить при работе трехфазного синхронного генератора: а) короткое замыкание между фазами обмотки статора; б) заземление в двух местах обмотки статора?

687. Почему при работе трехфазного синхронного генератора, обмотки которого соединены а) треугольником; б) звездой, когда цепь возбуждения была исправна, напряжение в обмотке статора было только между двумя фазами?

688. В каком соотношении находятся коэффициенты мощности потребителей (A, B, C) с индуктивно-активными сопротивлениями, если внешние характеристики синхронного генератора, работающего на них, имеют вид, указанный на рис. 73, *а*.

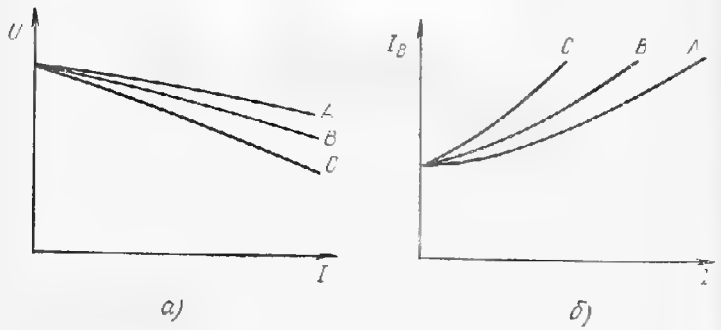


Рис. 73. *а* — к задаче 688, *б* — к задаче 689

689. Синхронный генератор работает на потребителей. В каком соотношении находятся коэффициенты мощности потребителей (A, B, C) с индуктивно-активными сопротивлениями, при которых синхронный генератор имеет регулировочные характеристики, изображенные на рис. 73, *б*?

690. Можно ли, применяя схему на рис. 72, изменять скорость вращения синхронного двигателя на обратную. Объяснить принцип работы этой схемы.

Рис. 74. К задачам 691, 728

691. На рис. 74 показана характеристика холостого хода синхронной электрической машины $E_x = f(I_в)$. Объяснить: а) физический смысл остаточной э. д. с. $E_{ост}$; б) гистерезис характеристики.

ГЛАВА VIII

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

§ 29. ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Э. д. с. генератора постоянного тока определяется следующим выражением:

$$E = \frac{pN}{60a} n\Phi = c_E n\Phi, \tag{142}$$

где N — число активных проводников обмотки якоря; a — число пар параллельных ветвей обмотки; p — число пар полюсов; n — скорость вращения якоря, об/мин; Φ — магнитный поток одного полюса, Вб; c_E — постоянный коэффициент, зависящий от конструктивных данных генератора.

Независимо от способа возбуждения для генератора постоянного тока:

напряжение на зажимах генератора

$$U = E - I_я R_я;$$

полезная (отдаваемая) мощность

$$P_2 = UI; \tag{143}$$

электромагнитная мощность

$$P_{э.м} = EI_я;$$

к. п. д. генератора

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P} \cdot 100\%,$$

где $I_я$ — ток якоря, А; $R_я$ — сопротивление цепи якоря, Ом; P_1 — мощность, подводимая к генератору, Вт; ΣP — суммарные потери, Вт; I — ток нагрузки (или внешней цепи), А.

При независимом и параллельном возбуждении генераторов сопротивление цепи якоря $R_я$ соответствует сопротивлению его обмотки $R_{о.я}$, а при последовательном и смешанном возбуждении равно сумме сопротивлений обмотки якоря $R_{о.я}$ и обмотки возбуждения $R_{о.в}$.

К основным характеристикам генераторов постоянного тока относятся: характеристика холостого хода $E=f(I_в)$ при $n=\text{const}$ и $I_н=0$; внешняя характеристика $U=f(I_я)$ при $n=\text{const}$ и $I_н=\text{const}$ (для независимого возбуждения) или $R_в=\text{const}$ (при самовозбуждении); регулировочная характеристика $I_в=f(I_я)$ при $U=\text{const}$ и $n=\text{const}$.

Задачи

692. Определить э. д. с. четырехполюсного генератора постоянного тока, если якорь вращается со скоростью 1200 об/мин, магнитный поток полюса 10^{-2} Вб, а отношение числа активных проводников обмотки якоря к числу пар параллельных ее ветвей 500.

693. Найти э. д. с. генератора при скоростях вращения якоря 900; 1200; 1600 об/мин, если магнитный поток одного полюса $1{,}1\cdot10^{-2}$ Вб, а постоянный коэффициент $c_E=10$.

694. Экспериментально было найдено, что при скорости вращения якоря 1000 об/мин э. д. с. была равна 120 В. Найти постоянную c_E, если магнитный поток 10^{-2} Вб.

695. Э. д. с. восьмиполюсного генератора постоянного тока равна 200 В. Какая скорость вращения якоря, если магнитный поток полюса $1{,}6\cdot10^{-2}$ Вб, а $\frac{N}{a}=250$?

696. При увеличении скорости вращения генератора постоянного тока в 1,5 раза э. д. с. возросла на 50 В. Вычислить первоначальное значение э. д. с. при неизменном магнитном потоке.

697. Можно ли использовать генератор постоянного тока для измерения скорости вращения, т. е. в качестве тахометра?

698. Определить ток якоря и напряжение генератора независимого возбуждения (рис. 75, *а*) при токе возбуждения 0,1 А, если сопротивление якоря 0,5 Ом, сопротивление на-

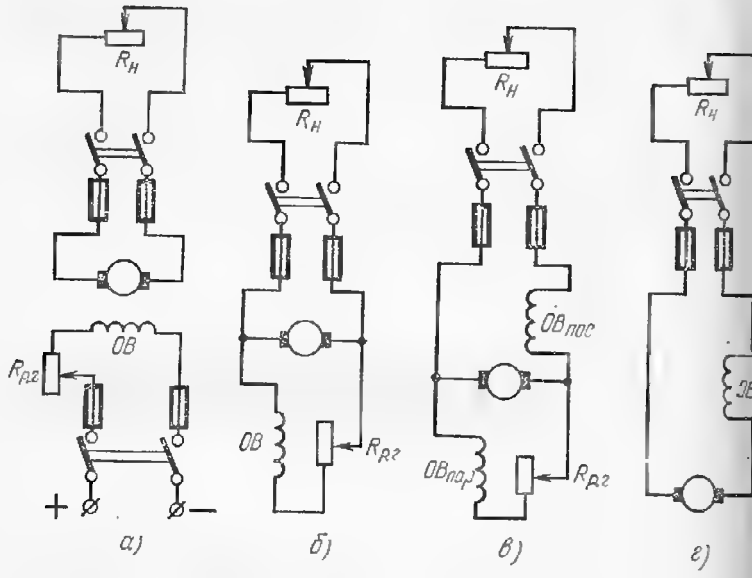


Рис. 75. *а* — к задачам 698, 700, *б* — к задачам 701, 703, 704, 723, *в* — к задаче 707, *г* — к задачам 713, 723

грузки 12 Ом. Для решения воспользоваться идеализированной характеристикой холостого хода генератора (рис. 76).

699. Рассчитать скорость вращения ротора генератора постоянного тока с независимым возбуждением, если $c_E=12$, $\Phi=2\cdot10^{-2}$ Вб, а напряжение холостого хода 100 В.

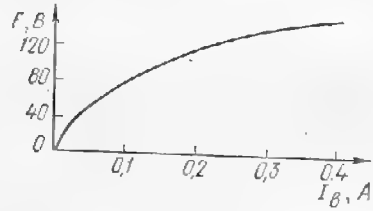


Рис. 76. К задачам 698, 725, 726

700. Дать ответ на вопрос предыдущей задачи, если напряжение 100 В, нагрузочное сопротивление $R_н=20$ Ом, $R_я=1$ Ом (см. рис. 75, *а*).

701. Найти ток возбуждения генератора параллельного возбуждения (см. рис. 75,*б*), если напряжение на зажимах генератора 100 В, а сопротивление цепи возбуждения 20 Ом.

702. Используя условия предыдущей задачи, определить ток якоря, если ток нагрузки 180 А.

703. В генераторе параллельного возбуждения ток равен 6 А. Найти напряжение на зажимах генератора, если известно, что сопротивление обмотки возбуждения 10 Ом, а сопротивление регулировочного реостата 30 Ом (см. рис. 75,*б*).

704. Как влияет увеличение сопротивления регулировочного реостата $R_{р.г}$ (см. рис. 75, *б*) генератора параллельного возбуждения: а) на ток возбуждения; б) на ток якоря (при постоянной нагрузке)?

705. Какой способ возбуждения должен иметь генератор, чтобы было справедливо равенство: а) тока якоря и тока нагрузки; б) тока якоря и суммы токов нагрузки и возбуждения?

706. Выбрать величину нагрузочного сопротивления, для которой ток якоря генератора не превышает 40 А при E=300 В, $R_я$=0,5 Ом.

707. Определить величину сопротивления якоря, чтобы э. д. с. генератора смешанного возбуждения (см. рис. 75, *в*) была не менее 250 В, если ток якоря 50 А, а сопротивление нагрузки 4,5 Ом.

708. В каком генераторе — с независимым возбуждением или с самовозбуждением — при разгоне якоря будет быстрее нарастать напряжение на выходе?

709. Как изменится выходное напряжение при одном и том же числе оборотов при изменении нагрузочного сопротивления генераторов с последовательным и параллельным возбуждением, если сопротивление якоря генератора мало?

710. Найти напряжение на зажимах генератора постоянного тока, если E=200 В, ток якоря 10, 20, 50 А, а сопротивление цепи якоря 1,5 Ом. При каких соотношениях $R_д$ и $R_я$ величина напряжения на зажимах генератора будет составлять 0,1; 0,5; 0,8 E?

711. Построить график зависимости тока якоря генератора смешанного возбуждения от сопротивления нагрузки $I_я$=$f(R_н)$, если $R_я$=1 Ом, а напряжение цепи якоря 4 В. Диапазон изменения $R_н$ принять равным 0—50 Ом.

712. При увеличении нагрузочного сопротивления в 2 раза ток якоря генератора постоянного тока последовательного возбуждения уменьшился на 10 А. Определить исходную величину $I_я$, если $R_я$=0,05 $R_н$.

713. Каково напряжение на нагрузочном сопротивлении $R_н$=150 Ом, подключенном к генератору с последовательным возбуждением (рис. 75, *г*), который вращается со ско-

ростью 1000 об/мин, если $R_{о.в}=4$ Ом, а $R_{о.я}=0{,}5$ Ом. Величина магнитного потока $2\cdot10^{-2}$ Вб, $c_E=8$.

714. Используя условия задачи 692, определить напряжение на зажимах генератора с параллельным возбуждением, причем $R_{о.в}=100$ Ом, а $R_я=1$ Ом (нагрузка отключена).

715. По условиям задач 714 и 692 рассчитать напряжение на зажимах генератора при подключении к нему $R_н=10$ Ом.

716. Найти полезную мощность, развиваемую якорем генератора параллельного возбуждения, если $E=130$ В; $I_в=3$ А, а $I_н=80$ А.

717. Полезная мощность генератора 5 кВт, потери мощности в обмотке якоря 100 Вт. Чему равен ток якоря, если э. д. с. 150 В?

718. Построить график зависимости $\eta=f\left(\frac{\Sigma P}{P_2}\right)$ в диапазоне изменения аргумента от 0 до 1.

719. Найти полезную мощность генератора смешанного возбуждения с нагрузочным током 50 А, если напряжение на его зажимах 150 В.

720. Каково сопротивление якоря, если ток якоря 22 А, полезная мощность генератора 10 кВт, электромагнитная — 10,5 кВт?

721. Почему статор генератора переменного тока собирается из отдельных стальных листов, а статор генератора постоянного тока представляет собой массивную стальную (или чугунную) отливку?

722. По каким признакам можно определить размагнитился или перемагнитился (т. е. намагнитился в другом направлении) генератор постоянного тока параллельного возбуждения?

723. Объяснить, будет ли запущен генератор постоянного тока без нагрузки, если он последовательного возбуждения (рис. 75, *г*) или параллельного возбуждения (рис. 75, *б*).

724. Чем вызвано повышенное напряжение при холостом ходе и при нагрузке у генератора постоянного тока, если неисправностей в нем не обнаружено?

725. Показать на графике, как изменится вид идеализированной характеристики холостого хода генератора независимого возбуждения (см. рис. 76), если скорость вращения увеличится.

726. Почему по характеристике холостого хода (см. рис. 76) можно судить о степени магнитного насыщения генератора?

727. Какими свойствами материала статора обусловлено наличие в нем остаточного магнетизма?

728. Как изменится график характеристики холостого хода (рис. 74), если полюса будут изготовлены из материала с большей магнитной проницаемостью μ?

729. Как изменится внешняя характеристика генератора параллельного возбуждения (рис. 77, *а*) при увеличении сопротивления регулировочного реостата $R_{р.г}$ (см. рис. 75, *б*)?

730. Почему при увеличении нагрузки график внешней характеристики генератора смешанного возбуждения расположен выше, чем генератора параллельного возбуждения?

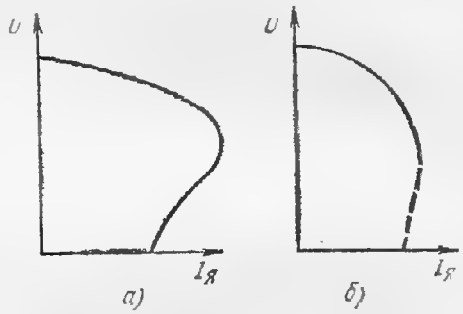


Рис. 77. *а*– к задаче 729, *б*—к задаче 731

731. Каким образом включены параллельная и последовательная обмотки возбуждения генератора смешанного возбуждения, если внешняя характеристика генератора имеет вид, изображенный на рис. 77, *б*?

§ 30. ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Э. д. с., индуцируемая в обмотке якоря при вращении двигателя, находится по выражению (142).

Независимо от способа включения обмотки возбуждения для двигателя постоянного тока можно записать:

напряжение на зажимах двигателя

$$U = E + I_Я R_Я;$$

мощность, подводимая к двигателю,

$$P_1 = UI;$$

электромагнитная мощность

$$P_{э.м} = EI_Я;$$

к. п. д. двигателя

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \cdot 100\%, \qquad (144)$$

где $I_я$ — ток якоря двигателя; I — ток двигателя; $R_я$ — сопротивление обмотки якоря; P_2 — полезная мощность на валу двигателя; ΣP — суммарные потери.

Вращающий (электромагнитный) момент двигателя определяется так:

$$M = \frac{pN}{2\pi a} I_я \Phi_m = c_м I_я \Phi_m \text{ [Н·м]},$$

где $c_м$ — постоянный коэффициент, зависящий от конструктивных данных двигателя; Φ_m — магнитный поток, Вб.

К основным характеристикам двигателей постоянного тока относятся: рабочие M, n, $I_н$, $\eta = f(P_2)$ при $I_в = \text{const}$ и $U = \text{const}$ и механическая $n = f(M)$ при $U = \text{const}$ и $I_г = \text{const}$.

Существует три способа торможения двигателей постоянного тока: 1) рекуперативное (с возвратом энергии в сеть), 2) динамическое; 3) противовключение.

Задачи

732. Как определяется полярность дополнительных полюсов генераторов и двигателей?

733. Найти э. д. с., индуцируемую в якоре двигателя постоянного тока, если при скорости вращения двигателя 1000 об/мин магнитный поток не превышает $1{,}8 \cdot 10^{-2}$ Вб, а $c_E = 9$.

734. Двигатель постоянного тока вращается со скоростью 1200 об/мин, магнитный поток полюса 10^{-2} Вб. Сколько полюсов у двигателя, если отношение числа активных проводников обмотки якоря к числу пар ее параллельных ветвей равно 450. Э. д. с. двигателя 360 В.

735. При возрастании скорости вращения двигателя постоянного тока в 1,5 раза э. д. с. увеличилась на 60 В. Определить первоначальное значение э. д. с., считая неизменным магнитный поток.

736. Каким должно быть сопротивление регулировоч-

ного реостата $R_{р.г}$ двигателя параллельного возбуждения (рис. 78, *а*), чтобы ток возбуждения не превышал 2 А, если напряжение, подводимое к двигателю, 220 В, а сопротивление обмотки возбуждения 50 Ом?

737. Напряжение, подводимое к двигателю последовательного возбуждения (рис. 78, *б*), составляет 220 В. Чему равна подводимая мощность, если ток якоря 25 А?

738. Решить предыдущую задачу для двигателя с параллельным возбуждением (рис. 78, *а*), если сопротивление обмотки возбуждения $R_{о.в}$=80 Ом.

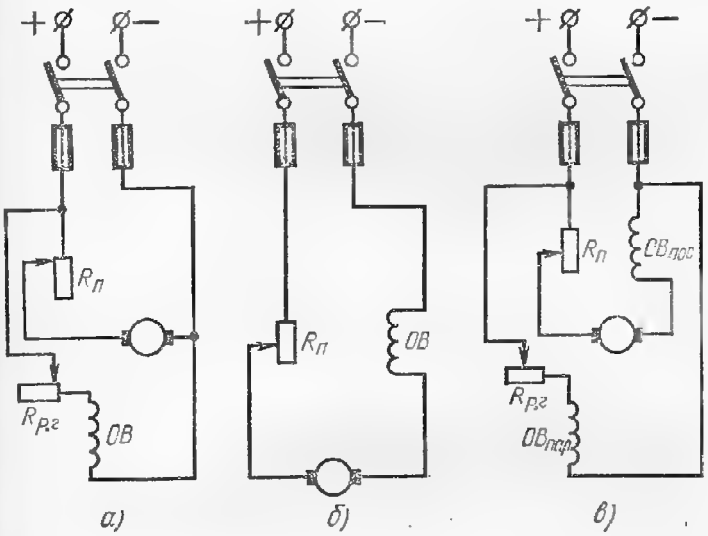


Рис. 78. *а* — к задачам 736, 738, 741, 754, *б* — к задаче 737, *в* — к задачам 742, 754

739. С каким к. п. д. работает двигатель последовательного возбуждения, включенный в сеть с напряжением 220 В, если полезная мощность на его валу 4,2 кВт, а ток якоря не превышает 24,5 А?

740. Двигатель последовательного возбуждения присоединен к источнику с напряжением 120 В. Какую максимальную мощность имеет двигатель, если общее сопротивление цепи 29 Ом?

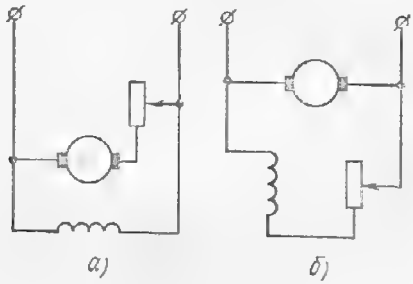
741. Объяснить, как осуществляется запуск двигателя параллельного возбуждения по схеме на рис. 78, *а*. Пра-

вильно ли установлены движки регулировочного $R_{р.г}$ и пускового $R_п$ реостатов перед пуском?

742. У двигателя смешанного возбуждения (рис. 78, в) обмотки включены таким образом, что создаваемые ими по токи противоположны по направлению. Какова при этом скорость вращения двигателя по отношению к номинальной при номинальном напряжении?

743. Как изменится установившийся ток якоря двигателя постоянного тока, если движок реостата передвинуть а) вверх (рис. 79, *а*); б) вниз (рис. 79, *б*)? Момент на валу двигателя считать неизменным.

744. Двигатель постоянного тока имеет следующие данные: $P_{ном} = 50$ кВт; $U_{ном} = 220$ В; $I_{ном} = 250$ А. Определить сопротивление якоря и сопротивление пускового реостата, если ток якоря при пуске равен $2{,}3\ I_{ном}$.



а) *б)*

Рис. 79. К задаче 743

745. Найти сопротивление якоря двигателя параллельного возбуждения в момент пуска, если наибольшее сопротивление пускового реостата 5 Ом и ток в момент пуска при напряжении сети 120 В был 20 А.

746. Определить сопротивление пускового реостата для двигателя параллельного возбуждения, если пусковой ток в 2 раза больше расчетного тока якоря, а $R_я = 1$ Ом. Двигатель рассчитан на напряжение 180 В и ток якоря 15 А.

747. По условиям предыдущей задачи найти пусковой ток при полностью выведенном пусковом реостате.

748. Можно ли осуществить запуск двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением, если обмотку возбуждения присоединить после пускового реостата?

749. На рис. 80, *а* дан график зависимости $n=f(M)$ двигателя постоянного тока параллельного возбуждения. В каком соотношении находятся токи в обмотке якоря при работе двигателя в режимах, соответствующих точкам *A*, *B* и *C*?

750. На рис. 80, *б* даны зависимости $n=f(I_я)$ двигателя постоянного тока параллельного возбуждения. В каком соотношении находятся моменты, развиваемые двигателями, при одинаковом токе якоря в режимах, соответствующих точкам *A*, *B* и *C*?

751. По графику механической характеристики двигателя последовательного возбуждения (рис. 80, *в*) объяснить, почему эти двигатели (небольшой мощности) запускают только под нагрузкой.

752. Можно ли пусковым реостатом регулировать скорость вращения электродвигателя во время работы?

753. Почему изменение полярности источника питания не приводит к реверсу двигателя постоянного тока параллельного возбуждения?

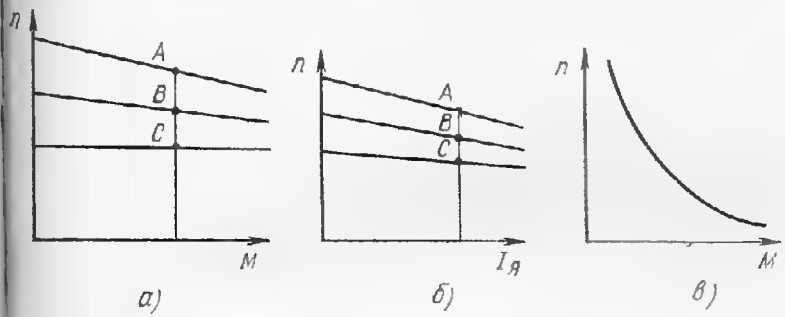


Рис. 80. *а* — к задаче 749, *б* — к задаче 750, *в* — к задаче 751

754. Указать, какие элементы необходимо добавить в схемы двигателей параллельного и смешанного возбуждения (рис. 78, *а* и *в*), чтобы можно было осуществлять динамическое торможение.

755. В каком режиме будет работать двигатель параллельного возбуждения, если скорость вращения якоря (под действием внешних усилий) окажется больше скорости его вращения при идеальном холостом ходе?

756. Какому способу торможения двигателя параллельного возбуждения соответствует выражение:

$$I_я = \frac{U + E}{R_я + R_{доб}}?$$

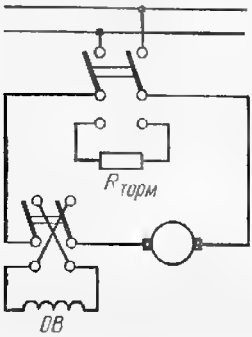


Рис. 81. К задаче 757

757. Для динамического торможения двигателя последовательного возбуждения применяется схема, изображенная на рис. 81. Объяснить принцип работы этой схемы.

758. В каких случаях целесообразно применять для электромеханических приводов двигатели: а) параллельного; б) последовательного и в) смешанного возбуждения?

ГЛАВА IX
ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

§ 31. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Явление испускания электронов с поверхности вещества носит название эмиссии, которая в зависимости от причин ее вызывающих, бывает термоэлектронной, фотоэлектронной и электростатической.

Плотность тока эмиссии с единицы площади нагретой поверхности зависит от температуры:

$$j = k_A T^2 e^{-\frac{B_0}{T}} \ [\text{А/м}^2], \tag{145}$$

где k_A и B_0 — постоянные величины.

Простейшим электронным прибором является двухэлектродная лампа — диод. Основная статическая характеристика диода вольт-амперная, которую принято называть анодной. Параметры диода определяются из следующего выражения:

$$R_i = \frac{1}{S_i} = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}, \tag{146}$$

где ΔU_a и ΔI_a — изменение анодных напряжения и тока; R_i — внутреннее сопротивление, Ом; S_i — крутизна вольт-амперной характеристики, А/В.

Величина анодного тока трехэлектродной лампы — триода определяется как величиной анодного напряжения, так и величиной сеточного напряжения. Поэтому работу лампы описывают двумя статическими характеристиками: анодной $I_a = f(U_a)$ и анодно-сеточной $I_a = f(U_g)$. Для характеристики триодов помимо параметров R_i и S_i вводится еще два параметра:

$$\begin{aligned} k_\mu &= -\frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \quad \text{при} \quad I_a = \text{const}; \\ s_a &= \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \quad \text{при} \quad U_a = \text{const}, \end{aligned} \tag{147}$$

где k_μ — статический коэффициент усиления, который показывает, во сколько раз приращение потенциала сетки ΔU_g сильнее воздействует на анодный ток по сравнению с приращением потенциала анода ΔU_a; s_a — крутизна анодно-сеточной характеристики, А/В. Между параметрами s_a, R_i и k_μ существует следующая связь:

$$s_a R_i = k_\mu. \tag{148}$$

Наряду с триодами в электронных схемах широко и
пользуются четырех- и пятиэлектродные лампы (тетро
пентоды), которые характеризуются параметрами $k_$, R_i и S_i.

Задачи

759. Найти плотность тока эмиссии с единицы площа
нагретой поверхности при температурах 300, 350, 40
если $k_A=10^{-4}$ А/(град^2·мм^2); $B_э=3500$ К.

760. Построить график зависимости $j=f(T)$ в диапазо
температур 300÷400 К, если $k_A=10^{-5}$ А/(град^2·мм^2), $B_э$
=3500 К. Интервал температур выбрать 20 К. Чему рав
плотность тока термоэлектронной эмиссии при $T\to0$ и $T\to\infty$?

761*. Экспериментально было установлено, что при
400 К $j=10^1$ А/м^2, а при 500 К $j=3\cdot10^3$ А/м^2. Найти коэ
фициенты k_A и $B_э$.

762. В одну схему включена лампа с катодом прямого
накала, в другую — с катодом косвенного накала. В пер
случае величина анодного тока при одинаковых мощностях
накала $P_{нак}$ и анодных напряжениях U_a будет больше

763. Объяснить наличие обратного тока в диоде при
больших отрицательных напряжениях на аноде.

764. Определить крутизну вольт-амперной характери
стики диода, если: 1) $\Delta U_a=10$ В и $\Delta I_a=20$ мА; 2) R_i
=500 Ом.

765. Напряжение накала лампы 6 В, ток насыщения
лампы 0,5 А. Рассчитать сопротивление цепи накала $R_н$
катода прямого подогрева, если ток в цепи в два раза мень
ше тока эмиссии.

766. На рис. 82, *а* приведена экспериментальная ано
ная характеристика электровакуумного диода. Найти вну
треннее сопротивление и крутизну характеристики для
режимах, соответствующих точкам A, B и C.

767. Как изменилась крутизна вольт-амперной характе
ристики S_i диода, если при увеличении напряжения от
до 20 В ток изменился на 40 мА, а при увеличении напряже
ния от 20 до 30 В — на 20 мА?

768. На рис. 82, *б* представлена простейшая схема вклю
чения диода, причем $E_c=120$ В. Определить анодное напря
жение и ток лампы при $R_н=12$; 6 и 4 кОм на основании
анодной характеристики, приведенной на рис. 82, *с*.

769. К лампе приложено напряжение 500 В при то
10 мА. В цепь питания катода прямого подогрева включ

источник с $U_{нак}$=6 В, а $R_{кат}$=10 Ом. Какое количество тепла выделяется ежесекундно на аноде и катоде?

770. При анодном напряжении кенотрона 60 В анодный ток равен 120 мА. Определить значение анодного тока при

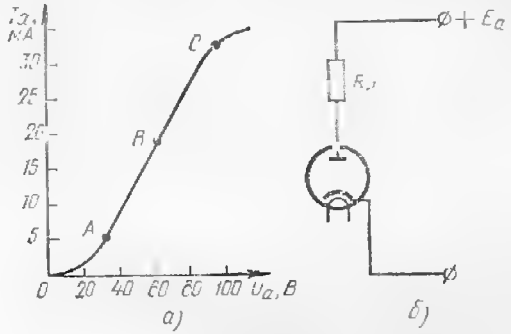


Рис. 82. *а* — к задаче 766, *б* — к задаче 768

анодном напряжении 80 В, если крутизна анодной характеристики составляет на этом участке 5 мА/В.

771. Ток в цепи нагрузки однополупериодного выпрямления равен 10 мА при $U_н$ =100 В. Какое минимальное сопротивление можно подключить параллельно нагрузке, если допустимый ток диода составляет 20 мА, а R_i 0,5 кОм?

772. Определить минимальную величину сопротивления нагрузки электровакуумной лампы с R_i=50 Ом, если допустимый ток 0,1 А, а мощность, потребляемая схемой от источника питания, равна 10 Вт.

773. Как изменится ток I_a в триоде при постоянном напряжении U_a в зависимости от знака напряжения U_g?

774. Чему равен коэффициент усиления триода k_i, если задано: 1) ΔU_a 20 В и ΔU_g =1 В; 2) s_a=10 мА/В и S_i= =2 мА/В; 3) R_i=1 кОм; ΔI_a=2 мА и ΔU_g=1 В.

775. На рис. 83, *а*, *б* приведены экспериментальные анодно-сеточные и анодные характеристики электровакуумного триода. Найти внутреннее сопротивление, крутизну анодной и анодно-сеточной характеристик, коэффициенты усиления лампы в режимах, соответствующих точкам *A*, *B* и *C*.

776. Какие величины k_i и R_i должен иметь триод, если при изменении сеточного напряжения на 1 В анодный ток должен изменяться на 20 мА, а анодное напряжение — на 20 В?

777. Определить максимальный коэффициент усиления триода, если допустимое анодное напряжение 150 В, а при изменении входного напряжения на 0,5 В анодное напряжение возрастает от 100 до 140 В.

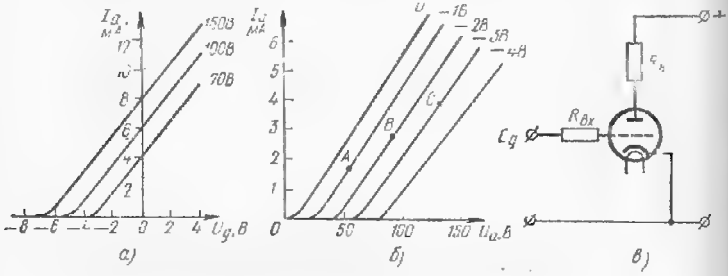


Рис. 83. *а*, *б* — к задачам 775, 779, *в* — к задаче 780

778. Входное сопротивление триода 1 МОм. Какое максимальное сопротивление можно подключать последовательно сетке при настройке, чтобы сеточное напряжение было не менее 5 В при входном сигнале $U=15$ В?

779. Используя семейство анодных характеристик (рис. 83, *б*) построить анодно-сеточные характеристики триода при анодных напряжениях 50 и 120 В.

780*. На рис. 83, *в* представлена простейшая схема включения триода, причем $E_a=180$ В, $E_g=-3$ В. Определить анодный ток, сеточное и анодное напряжения лампы при $R_н=30$ кОм, $R_{вх}=0{,}5$ кОм по анодно-сеточной и анодной характеристикам, приведенным на рис. 83, *а*, *б*.

781. Чему равен коэффициент усиления тетрода при $s_a=10$ мА/В и $R_i=10$ кОм.

782. Рассчитать величину изменения напряжения управляющей сетки пентода, если при некотором токе напряжение на аноде меняется на 100 В. $k_д=20, 50, 100$.

783. По анодно-сеточным и анодным характеристикам пентода, приведенным на рис. 84, *а*, *б*, найти внутреннее сопротивление, крутизну анодно-сеточной и анодной характеристик, коэффициенты усиления лампы в режимах, соответствующих точкам *A*, *B* и *C*.

784. Используя семейство анодных характеристик (рис. 84, *б*), построить анодно-сеточные характеристики пентода при анодных напряжениях 50 и 250 В.

785*. На рис. 84, *в* представлена простейшая схема включения пентода, причем $E_a=300$ В; $E_g=-4$ В. Опреде-

лить анодный ток, управляющее и анодное напряжения лампы при $R_н$=2 кОм; $R_{вх}$=0,1 кОм, если ее анодно-сеточная и анодная характеристики приведены на рис. 84, *а* и *б*.

786. Используя анодные характеристики электронных приборов на рис. 82, 83, 84, найти внутренние сопротивле-

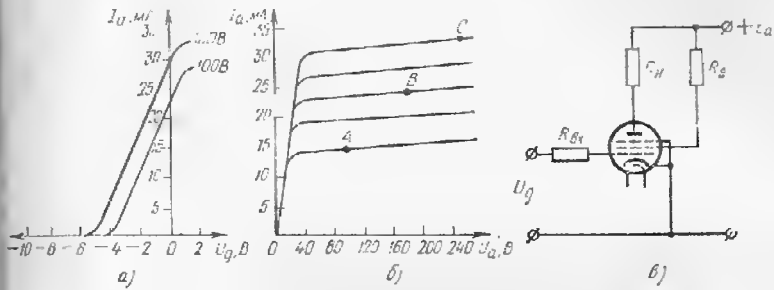


Рис. 84. *а*, *б* — к задачам 783, 784, *в* — к задаче 785

ния лампы в режимах, соответствующих точкам *А* для постоянного и переменного токов.

787. Составить принципиальную электрическую схему, позволяющую наблюдать анодные и анодно-сеточные характеристики электронных приборов на экране осциллографа.

788. Определить направление отклонения пучка по рис. 85, *а*

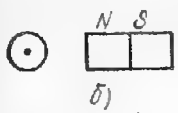


Рис. 85. К задаче 788

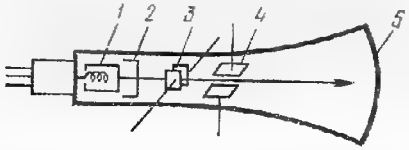


Рис. 86. Устройство ЭЛТ:

1 — электронный прожектор, *2* — фокусирующая система, *3* — устройство горизонтального отклонения, *4* — устройство вертикального отклонения, *5* — экран

и *б*: а) под действием электрического поля; б) под действием магнитного поля.

789 [1]. Как изменится растр на экране ЭЛТ телевизора (рис. 86), если: а) на вертикальные и горизонтальные пластины будет подано постоянное напряжение; б) на пластины

[1] В задачах 789, 790, 791, 793, 794 в качестве горизонтально и вертикально отклоняющих устройств ЭЛТ используются пластины.

вертикального отклонения Y будет подано импульсное напряжение прямоугольной формы; в) на пластины горизонтального отклонения X будет подано напряжение синусоидальной формы?

790. На пластины горизонтального и вертикального отклонения ЭЛТ подано постоянное напряжение 5 В. Определить расстояние от центра экрана до светящейся точки, если чувствительность горизонтально и вертикально отклоняющих устройств соответственно равна 3 и 5 мм/В.

791. Экран ЭЛТ представляет собой круг диаметром 30 мм. Какое максимальное напряжение можно подавать на отклоняющие пластины ЭЛТ, если величина отклонения луча соответствует чувствительности 5 мм/В?

792. Величина светового потока в помещении, где установлен осциллограф, составляет 500 лм. Какое минимальное напряжение должно быть подано на электронный прожектор, если при напряжении 1 кВ светящаяся точка диаметром 2 мм имеет светимость, равную $2{,}5 \cdot 10^9$ лм/м^2? Зависимость светимости точки от напряжения электронного прожектора считать линейной.

793. К вертикально отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки приложено переменное синусоидальное напряжение с действующим значением 50 В. Смещение луча составило 20 мм. Определить величину постоянного напряжения, которое вызывает перемещение луча на эту же величину.

794*. Сигналы какой формы необходимо подавать на отклоняющие пластины ЭЛТ, чтобы светящаяся точка описывала на экране окружность?

795. Какие преимущества имеют электронные приборы по сравнению с полупроводниковыми?

§ 32. ИОННЫЕ (ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ) ПРИБОРЫ

Работа ионных приборов основана на тлеющем и дуговом разрядах в газовой среде под действием электрического поля.

Ламповый стабилитрон представляет собой двухэлектродный газонаполненный прибор, работа которого основана на свойстве тлеющего разряда поддерживать практически неизменным напряжение горения при сравнительно больших изменениях анодного тока.

Тиратрон с холодным катодом представляет собой трехэлектродный газонаполненный прибор, основной характе-

ристикой которого является пусковая, выражающая зависимость между напряжением зажигания и сеточным напряжением $U_a = f(U_g)$. Величина тока анодной цепи определяется следующей зависимостью:

$$I_a = \frac{E_a - U_т}{R_н}, \qquad (149)$$

где $U_т$ — напряжение на тиратроне; $R_н$ — сопротивление нагрузки.

Газотрон представляет собой газонаполненный диод, работа которого основана на дуговом разряде в пространстве между анодом и катодом. В качестве управляемых приборов дугового разряда используются тиратроны, которые конструктивно выполняются как газонаполненные триоды или пентоды.

Задачи

796. Чем определяется начальная ионизация, т. е. наличие заряженных частиц в газе при отсутствии электрического поля?

797. Дифференциальное сопротивление газоразрядной лампы составляет $R_д = 10$ Ом. Определить: а) как изменится напряжение на стабилитроне при увеличении тока от 10 до 100 мА; б) как изменится ток на участке тлеющего разряда при изменении напряжения питания на 0,4 В.

798. Выбрать стабилитрон с таким дифференциальным сопротивлением, чтобы изменение тока на 50 мА вызывало изменение напряжения стабилитрона, равного 100 В, не более чем на 1%.

799. Как конструктивно должен быть выполнен ламповый стабилитрон, чтобы его вольт-амперная характеристика была симметричной, т. е. не менялась при изменении полярности источника питания?

800. На рис. 87, *а* представлена простейшая схема включения стабилитрона, причем $E_a = 220$ В. Определить анодный ток и дифференциальное сопротивление лампы при $R_н = 2$; 1; 0,5 кОм, если ее анодная характеристика приведена на рис. 87, *б*.

801. Чему равно напряжение тиратрона, если напряжение анодного питания 50 В, анодный ток 30 мА, а величина нагрузочного сопротивления 1 кОм?

802. На рис. 88, *а* и *б* приведены экспериментальные пусковая и вольт-амперная характеристики тиратрона с холодным катодом. Найти дифференциальные сопротивления

тиратрона при токе 400 мА и различных пусковых токах. При каком пусковом токе происходит зажигание тиратрона, если напряжение зажигания $U_з$=80, 130, 180 В?

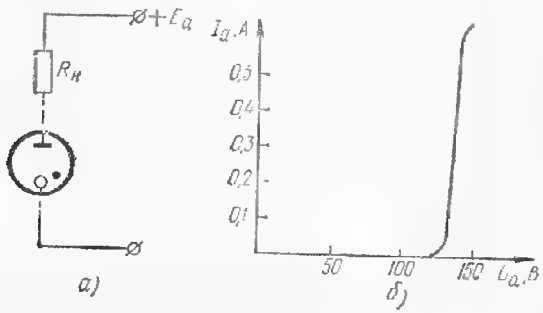


Рис. 87. К задаче 800

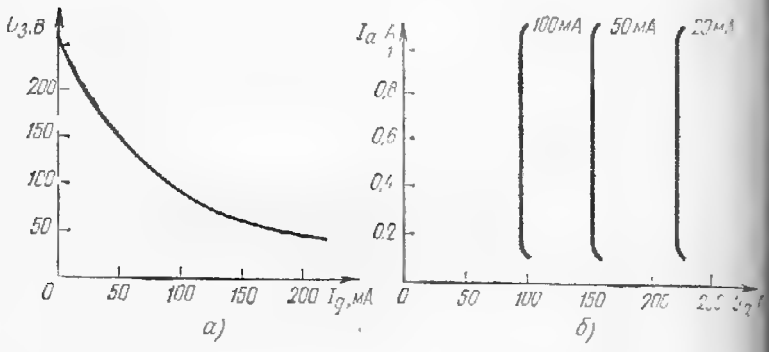


Рис. 88. К задаче 802

803. Определить мощность, выделяемую в нагрузке ти тиратрона, и к. п. д. схемы, если E_a=150 В; $U_т$=100 В $R_н$=1 кОм.

804*. Какой ток сетки тиратрона с холодным катодо необходим для его поджигания при $U_з$=100 В, если при увеличении I_g от 1 до 5 мА напряжение изменялось линейн от 120 до 60 В?

805. При изменении э. д. с. источника питания схемы, состоящей из тиратрона и резистора, на 10 В анодный ток увеличился в полтора раза. Определить первоначальную величину анодного тока, если напряжение на горящем ти ратроне 10 В, а сопротивление резистора 1 кОм.

806. Какой должна быть минимальная величина э. д. с. источника анодного напряжения, чтобы при $I_a = 0{,}1$ А напряжение на горящем тиратроне составляло не менее 50 В? Нагрузочное сопротивление 1 кОм.

807. Определить сопротивление резистора в цепи газотрона, соответствующее его зажиганию, если $U_a = 100$ В; $I_a = 50$ мА и $U_{пит} = 150$ В.

808. При изменении сеточного напряжения тиратрона от 1 до 5 В напряжение зажигания линейно изменялось от 100 до 70 В. Найти величину сеточного напряжения, необходимую для зажигания тиратрона при 80 В.

809*. На рис. 89 представлена простейшая схема включения тиратрона. Напряжение и ток начала дугового разряда составляют 140 В и 10 А, дифференциальное сопротивление на участке от 10 до 100 А составляет 0,1 Ом, $R_н = 5$ Ом; $E_a = 250$ В. Определить анодный ток тиратрона. Для чего служит ограничительное сопротивление $R_{огр}$ в управляющей сетке лампы?

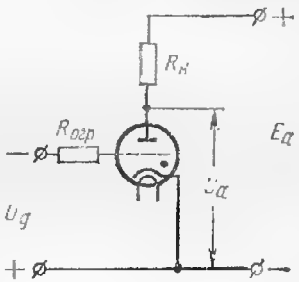


Рис. 89. К задаче 809

810. Почему поверхность катода в ионной лампе должна быть больше, чем поверхность анода?

§ 33. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Проводимость полупроводниковых приборов носит тепловой и примесный характер, а наиболее простым полупроводниковым прибором является термосопротивление или терморезистор.

Основной статической характеристикой терморезистора является зависимость сопротивления рабочего тела от температуры, которая носит название температурной характеристики

$$R_т = R_\infty e^{\frac{B_т}{T}}, \qquad (150)$$

где R_∞ и $B_т$ — постоянные коэффициенты, указанные в паспортных данных.

Наибольшее распространение имеют полупроводниковые приборы с электронно-дырочными переходами. Электронно-дырочный переход (или p — n-переход) представляет

собой запорный слой, образующийся в месте контакта двух полупроводниковых областей, имеющих электронный и дырочный характер проводимости.

Диод — это полупроводниковый прибор с одним $p-n$-переходом, который имеет существенно различное сопротивление при изменении полярности приложенного напряжения. Незначительное сопротивление соответствует прямому включению, а очень большое — обратному включению диода.

Полупроводниковый диод характеризуется значительной чувствительностью к температуре среды, особенно при обратном включении. Поэтому вводится понятие температурной характеристики диода:

$$I_0 = I_{01} e^{\left(\frac{B_д}{T_1} - \frac{B_д}{T}\right)}, \qquad (151)$$

где I_{01} — обратный ток при температуре среды T_1; $B_д$ — постоянный коэффициент.

Полупроводниковые приборы с двумя $p-n$-переходами называются транзисторами. В схеме с общим эмиттером управляющим является ток базы $I_б$, а в схеме с общей базой — ток эмиттера $I_э$.

Зависимость тока коллектора $I_к$ от тока базы $I_б$ в схеме с общим эмиттером определяется следующим уравнением:

$$I_к = \beta (I_б + I_{к.о}), \qquad (152)$$

где β — коэффициент усиления; $I_{к.о}$ — ток, определяемый носителями области базы и коллекторной области при $I_э = 0$.

В схеме с общей базой имеем:

$$I_к = \alpha I_э + I_{к.о}, \qquad (153)$$

где α — коэффициент усиления.

Между коэффициентами α и β существует следующая связь:

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}. \qquad (154)$$

Величина тока $I_{к.о}$ возрастает с ростом температуры:

$$I_{к.о} = I_{к.о1} e^{\left(\frac{B_к}{T_1} - \frac{B_к}{T}\right)}, \qquad (155)$$

где $I_{к.о1}$ — ток $I_{к.о}$ при температуре T_1.

Задачи

811. Чем объясняется высокая твердость германиевых и кремниевых полупроводников?

812. Какие из указанных примесей — фосфор, алюминий, мышьяк, сурьма, галлий, бор, кремний, углерод — придают германиевому полупроводнику электронную и дырочную проводимость?

813. На рис. 90, *а* и *б* приведены простейшая схема включения терморезистора и его вольт-амперная характе-

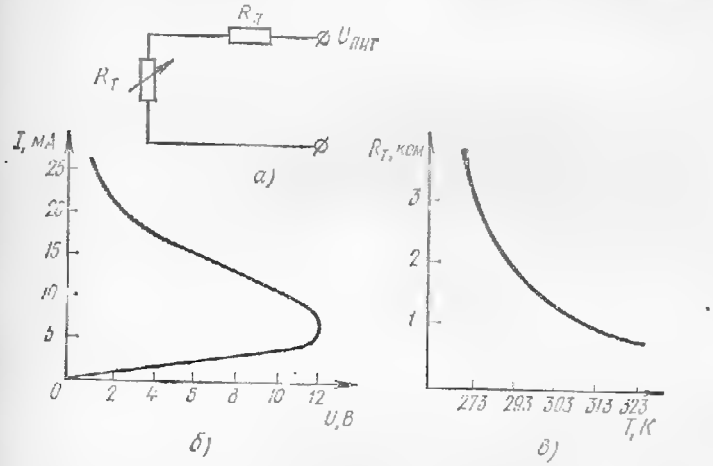


Рис. 90. *а*, *б* — к задаче 813, *в* — к задаче 814

ристика. Найти ток и напряжение терморезистора, если к нему последовательно подключен резистор с сопротивлением 5,1; 0,8 кОм. Напряжение питания 16 В.

814*. В соответствии с температурной характеристикой терморезистора (рис. 90, *в*) построить вольт-амперные характеристики терморезистора на линейном участке при T =273 и 310 К, если вольт-амперная характеристика, представленная на рис. 90, *б*, соответствует температуре 293 К.

815 [1]. Найти сопротивление терморезистора при 350 К, если при 300 К сопротивление было 10 кОм, а $B_т$=6000 К.

816. При 300 К сопротивление терморезистора равно 100 кОм. Каким температурам среды соответствуют значения сопротивления 50 кОм и 150 кОм, если $B_т$= 4600 К?

[1] В задачах 815—819 считать, что режим работы терморезистора соответствует линейному участку его вольт-амперной характеристики.

817. Определить допустимую температуру среды, если ток в цепи с терморезистором с $R_\infty = 1$ Ом и $B_т = 4600$ К и нагрузкой 1 кОм не должен превышать 0,01 А при $U_{пит} = 50$ В.

818. Чему равен ток в цепи, состоящей из последовательно соединенных терморезистора с $R_\infty = 1$ Ом и $B_т = 4000$ К и резистора нагрузки с $R_н = 10$ кОм, если $U_{пит} = 50$ В, а температура среды 300 К.

819*. Построить график температурной характеристики терморезистора с $R_\infty = 0{,}02$ Ом; $B_т = 4500$ К в интервале температур 300—330 К и графически найти величины его сопротивления при $T_1 = 315$ К и $T_2 = 325$ К.

820. На рис. 91, *а* представлена простейшая схема включения полупроводникового диода в прямом включении, причем $U_{пит} = 2$ В. Определить напряжение и ток диода при $R_н = 10$, 20, 50 Ом, если вольт-амперная характеристика диода соответствует приведенной на рис. 91, *б*.

821. На рис. 91, *а* представлена простейшая схема с полупроводниковым диодом при его обратном включении, причем $U_{пит} = 100$ В. Найти напряжение и ток диода при

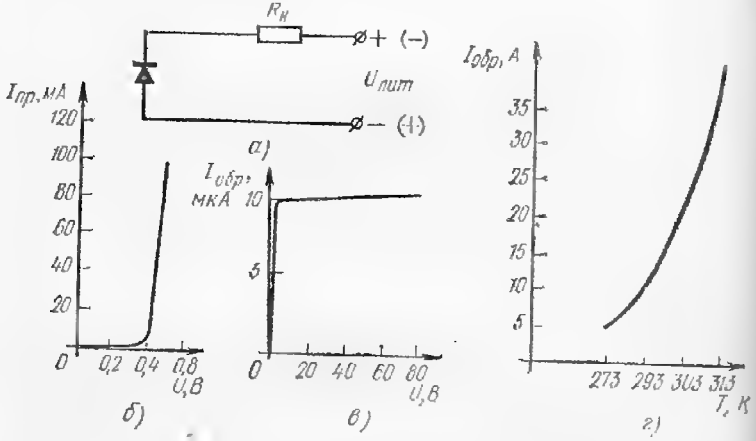


Рис. 91. *а*, *б* — к задаче 820, *в* — к задаче 821, *г* — к задаче 822

$R_н = 8$; 0,1; 1 кОм по вольт-амперной характеристике диода, приведенной на рис. 91, *в*.

822*. Воспользовавшись температурной характеристикой обратного тока диода, приведенной на рис. 91, *г*, построить вольт-амперные характеристики диода при температурах 273 и 313 К, если вольт-амперная характеристика

(см. рис. 91, *в*) соответствует температуре 293 К, а дифференциальное сопротивление $R_д(T)$=const.

823. Найти максимальное напряжение питания схемы с диодом и резистором нагрузки $R_н$=100 кОм, если обратный ток 150 мкА, а допустимое напряжение диода не должно превышать 100 В.

824. Используя условия задач 820 и 821, определить дифференциальное сопротивление диода при прямом и обратном включении.

825. Рассчитать величину нагрузочного сопротивления в схеме рис. 91, *а*, если $U_{пит}$ =6 В, а при напряжении на диоде 0,5 В ток равен 11 мА.

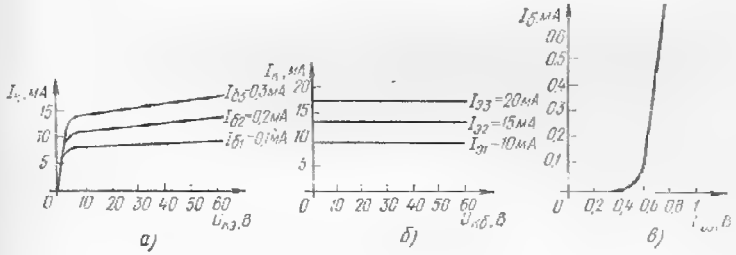


Рис. 92. *а* — к задаче 830, *б* — к задаче 831, *в* — к задаче 833

826. До какой температуры среды можно применять диод с I_{01}=25 мкА при T_1=300 и $B_д$ =6000 К, если ток при обратном включении не должен превышать 1 мА?

827*. Определить постоянную величину $B_д$ по экспериментальному значению тока I_{02}=50 мкА при T_2=330 К, если I_{01}=10 мкА при T_1=290 К.

828. Рассчитать обратный ток диода при 350 К, если при 300 К он равен 10 мкА, а $B_д$=7500 К.

829*. Построить график температурной характеристики обратного тока диода с I_{01}=10 мкА при 293 К и $B_д$ =6000 К в интервале температур от 300 до 320 К. Графически найти величины тока при 308 и 314 К.

830. На рис. 92, *а* приведено семейство вольт-амперных характеристик транзистора в схеме с общим эмиттером. Найти коэффициенты усиления транзистора по току при напряжении 40 В.

831. На рис. 92, *б* представлено семейство вольт-амперных характеристик транзистора в схеме с общей базой. Найти ток $I_к$ и напряжение $U_{к.б}$ транзистора при $R_н$=1.

2: 0,5 кОм и $U_{пит}$=40 В. Определить коэффициент усиления транзистора по току при $I_э$=10 мА.

832. Найти управляющий ток транзистора в схеме с общим эмиттером, если в его входную цепь включен резистор сопротивлением 4, 6, 8 кОм, а напряжение входного источника питания составляет 2 В.

833*. Найти ток базы, ток коллектора и напряжение коллектора в схеме с общим эмиттером, если $U_{вх}$=1 В; $R_{вх}$=5 кОм, $U_{пит}$=50 В; $R_н$=1 кОм. Входные и выходные характеристики транзистора приведены на рис. 92 *в*, *а*.

834. Используя условие предыдущей задачи, определить коэффициенты усиления по току и напряжению транзистора в схеме с общим эмиттером.

835. Чему равен максимальный коэффициент усиления транзистора в схеме с общим эмиттером β при $I_б$=50 мкА, $I_{к.о}$=10 мкА, если ток $I_к$ не превышает 3,6 мА?

836. Найти коэффициент усиления транзистора в схеме с общей базой, если $I_э$=5 мА; $I_{к.о}$=0,05 мА, а $I_к$=4,55 мА.

837. Ток коллектора транзистора на участке насыщения в схеме с общей базой равен 50 мА. Какое должно быть нагрузочное сопротивление, чтобы напряжение $U_{к.б}$ не превышало 10 В, если напряжение питания составляет 60 В.

838. Напряжение на транзисторе в схеме с общим эмиттером составляет 15 В. Определить допустимый ток в цепи базы, если β=50, а допустимая мощность не должна превышать 0,75 Вт (ток $I_{к.о}\approx 0$).

839*. До какой температуры среды можно применять транзистор в схеме с общим эмиттером если $I_к$ не должен превышать 100 мА, $I_б$=1 мА, β=90, I_{01}=50 мкА при T_0=300 К, $B_к$=6000 К?

840. Определить коэффициент усиления транзистора в схеме с общей базой, если $I_э$=4,9 мА; $I_к$=5мА, $I_{к.о}$=−0,2 мА. Чему равен коэффициент усиления этого транзистора в схеме с общим эмиттером?

841. Построить график зависимости $\alpha=f(\beta)$ транзистора, если коэффициент усиления β меняется от 10 до 30. Найти графически величину α при β=14, 21, 28.

842*. Коэффициент усиления транзистора 30, а $I_{к.о}$=−10 мкА. Рассчитать величины токов $I_к$, $I_э$ и $I_б$ в схемах с общей базой и общим эмиттером, если известно, что ток $I_к$ был одинаков в обоих случаях, а $I_э$=65 $I_б$.

843. При изменении управляющего тока базы в схеме с общим эмиттером в два раза коллекторный ток увеличился

на 10 мА. Определить первоначальные значения токов базы и коллектора, если $\beta=50$, а $I_{к.о}=5$ мкА.

844. При экспериментальном определении тока $I_{э}$ в схеме с общей базой управляющим токам $I_{э1}=1$ мА и $I_{э2}=2$ мА соответствовали значения коллекторного тока $I_{к1}=0{,}98$ мА и $I_{к2}=1{,}95$ мА. Найти α и $I_{к.о}$.

845*. Определить граничные условия температурных характеристик полупроводниковых приборов (формулы 150, 151 и 155) при $T\to 0$ и $T\to\infty$.

846. Составить принципиальную электрическую схему устройства, позволяющего наблюдать вольт-амперные характеристики транзисторов на экране осциллографа.

847. На рис. 93, *а* представлено семейство вольт-амперных характеристик тиристора. Определить напряжение на тиристоре при токе $I_э=2$ мА. Построить график зависимости напряжения переключения от тока запуска $U_{пер}=f(I_э)$.

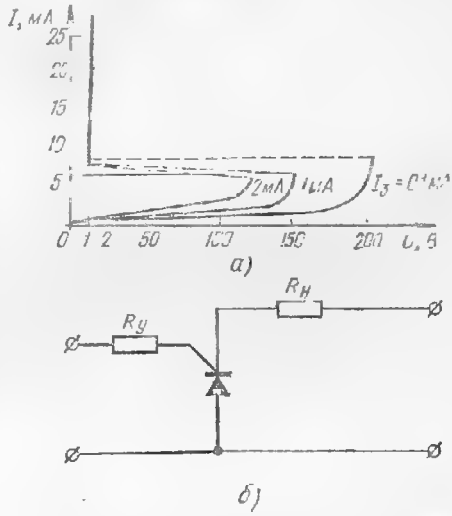


Рис. 93. *а* — к задаче 847, *б* — к задаче 848

848*. Простейшая схема включения тиристора приведена на рис. 93, *б*. Определить ток и напряжение тиристора при $R_н=100$ кОм; 25 кОм, 10 кОм и при $U_{пит}=250$ В. Построить график зависимости дифференциального сопротивления тиристора от сопротивления нагрузки, используя при этом характеристику семейства на рис. 93, *а* при $I_э=2$ мА.

§ 34. ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

В фотоэлектронных приборах преобразуются видимые, инфракрасные и ультрафиолетовые излучения в изменение электрической энергии на выходе.

В качестве фотоэлементов используют электронные, ионные и полупроводниковые приборы, выполненные таким

образом, что изменение светового потока вызывает изменение их характеристик. Фотоэлементы помимо вольт-амперной имеют световую и спектральную характеристики. Световая характеристика представляет собой зависимость тока прибора от светового потока при постоянном напряжении. Важным параметром световой характеристики является фоточувствительность:

$$s_\Phi = \frac{\Delta I_\Phi}{\Delta \Phi} \text{ [А/лм]}, \qquad (156)$$

где ΔI_Φ — изменение тока фотоэлемента, соответствующее изменению потока $\Delta\Phi$.

Спектральная характеристика представляет собой зависимость фоточувствительности от длины световой волны или спектра излучения при постоянных напряжении прибора и световом потоке.

Задачи

849. Как на основании ряда активности металлов объяснить активирование поверхности катодов электронных фотоэлементов металлами щелочно-земельной группы?

850. Как изменяется темновой ток фотоэлемента при увеличении температуры фотокатода? Целесообразно ли использовать фотокатоды для получения электронного потока в электронных лампах с подогревным катодом?

851. Определить чувствительность фотоэлемента, если при изменении светового потока на 10 лм анодный ток изменяется на 20, 70, 150 мкА.

852. На какую минимальную величину фотопотока будет реагировать фотоэлемент с фоточувствительностью 0,5 мкА/лм, если минимальный измерительный ток равен 5 мкА?

853*. При изменении фотопотока в 2 раза плотность тока фотоэлектронной эмиссии увеличилась на 10^{-3} А/м^2. Найти плотность тока эмиссии в обоих случаях, приняв зависимость плотности тока эмиссии от фотопотока линейной.

854. Как изменится величина тока в схеме на рис. 94, *а*, если: а) излучатель заслонен от фотоэлемента; б) изменено угловое положение фотоизлучателя относительно фотоприемника; в) увеличена яркость излучения фотоизлучателя? Какой ток протекает в цепи фотоэлемента (рис. 94, *б*, г) при отсутствии тока в цепи фотоизлучателя?

855. Описать конструкцию фотоэлектронного элемента с внешним фотоэффектом, схема которого представлена на

рис. 94, *б*. Какая характеристика этого прибора дана на рис. 94, *в*?

856. Минимальный ток фотоприемника в схеме рис. 94, *а*, составляет 10 мкА. Какую минимальную величину светового потока должен иметь излучатель, если на приемник попадает 10% общего светового потока, а коэффициент фоточувствительности 0,1 мА/лм.

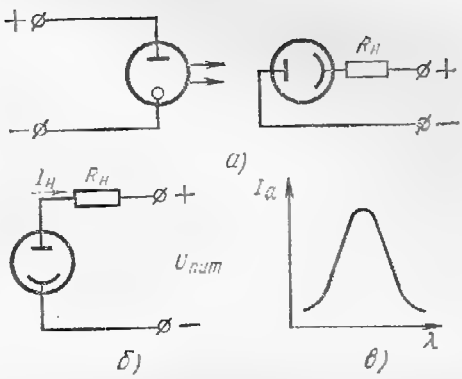


Рис. 94. *а*, *б* — к задаче 854, *в* — к задаче 855

857. На рис. 95 приведено семейство вольт-амперных характеристик электронного фотоэлемента для различных световых потоков. Построить световые характеристики при U_a=40, 80, 120 В и найти фоточувствительность.

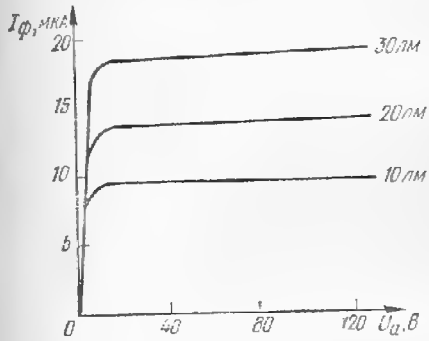


Рис. 95. к задаче 857

858. При световом потоке 200 лм ток в фотоэлементе достигает насыщения 1 мА. Какому напряжению $U_ф$ будет соответствовать этот режим при внутреннем сопротивлении фотоэлемента 1 кОм?

859. Величина освещенности фотоприемника обратно пропорциональна квадрату расстояния до излучателя. Как изменится освещенность фотоприемника при: а) увеличении расстояния в 2 раза; б) уменьшении расстояния в 3 раза?

860. Фоточувствительность фотоэлемента 1 мА/лм, а световой поток 100 лм. Найти величину тока при: 1) увеличении площади освещения в 2 раза; 2) уменьшении площади освещения в 1,5 раза.

861. При увеличении освещенности фотоэлемента от 10^7 до $3 \cdot 10^7$ лк фототок изменился на 0,5 мА, а при увеличении

от $3 \cdot 10^7$ до $5 \cdot 10^7$ лк фототок изменился на 0,1 мА. Как изменилась фоточувствительность, если рабочая площадь фотоэлемента 15 мм²?

862. Изобразить осциллограмму тока в нагрузке фотоэлемента (рис. 94, *б*) при питании схемы переменным напряжением.

863. На рис. 96 приведена схема трехкаскадного фотоумножителя. Какой вид эмиссии осуществляется на каждом из электродов?

864. Определить ток на выходе фотоумножителя с тремя каскадами, если коэффициент усиления каждого каскада равен 2, а фототок 10 мкА (рис. 96).

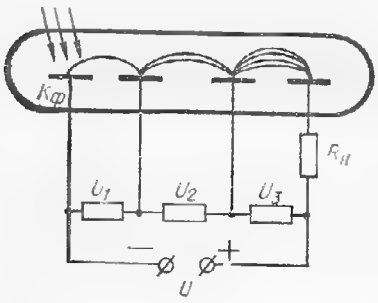


Рис. 96. К задаче 863

865. Какой минимальный световой поток можно измерять с помощью схемы на рис. 96, если коэффициент фоточувствительности фотокатода 10 мкА/лм, коэффициент усиления каждого из трех каскадов 2, а выходной ток I_{min} должен быть не менее 20 мкА?

866. Чему равен коэффициент усиления фотоумножителя с n вторичными катодами, если число электронов с каждого катода в k раз больше, чем с предыдущего?

867. Как влияет освещенность на величину напряжения тлеющего разряда в газонаполненном фотоэлементе?

868. На рис. 97, *а* приведены световые характеристики газонаполненного фотоэлемента для различных анодных напряжений. Определить фоточувствительность прибора при Ф=0,05; 0,1; 0,15 лм и U_a=100 В.

869. На рис. 97, *б* даны спектральные характеристики различных фотоэлементов. Указать длину волны, на которой каждый из элементов будет иметь максимальную фоточувствительность. Какой частоте спектра соответствуют найденные значения длины волны?

870*. При увеличении светового потока от 100 до 200 лм сопротивление фоторезистора линейно изменилось от 70 до 50 кОм. Какому световому потоку соответствует сопротивление фоторезистора, равное 60 кОм?

871. При 300 К сопротивление фоторезистора изменилось при изменении освещенности от 20 до 10 кОм, что соот-

ствовало коэффициенту фоточувствительности 0,1 кОм/лм. Как изменится фоточувствительность при 350 К, если $B_т$=5000 К.

872*. Определить минимальный световой поток, который можно измерить с помощью фоторезистора, включенного в схему с $R_н$=5 кОм и $U_{пит}$=50 В, если I_{min}=0,5 мА, а $s_ф$=0,5 кОм/лм, $R_∞$=0,1 Ом; $B_т$=4000 К, температура среды 300 К.

873. При изменении светового потока на 20 лм сопротивление фоторезистора уменьшилось в 1,2 раза. Напряжение питания прибора 10 В, а фоточувствительность 0,5 мА/лм. Найти первоначальные величины светового потока и сопротивления прибора.

874. Темновое сопротивление фоторезистора 50 кОм. При световом потоке 0,03 лм его сопротивление стало 30 кОм. Определить фоточувствительность прибора, если напряжение, подведенное к нему, равно 15 В.

875. На рис. 98, *а* представлена простейшая схема включения фотодиода как элемента питания солнечной батареи. Чему равен ток в

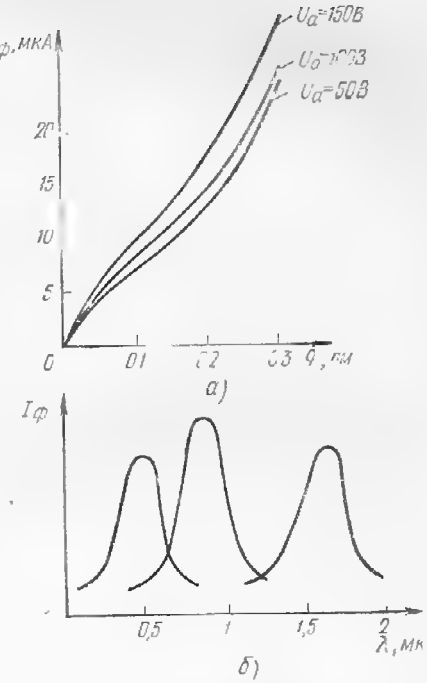


Рис. 97. *а* — к задаче 868, *б* — к задаче 869

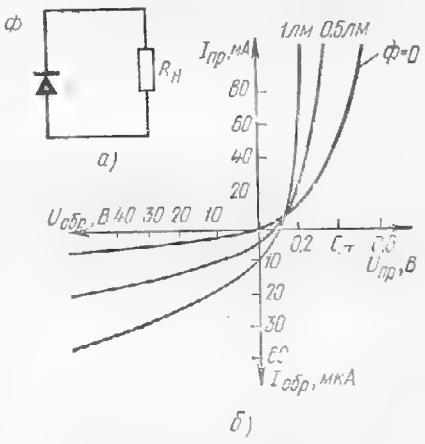


Рис. 98. *а* — к задаче 875, *б* — к задаче 876

нагрузочном резисторе 1 кОм, если фото-э. д. с. 0,7 В, а с
противление диода 10 кОм?

876. На рис. 98, *б* представлено семейство вольт-ампер
ных характеристик фотодиода. Построить световые хара
теристики при напряжении питания +10 В и $R_н$=0,25 кО
Определить чувствительность диода в прямом и обратно
включениях.

877. На рис. 99, *а* дана простейшая схема включени
фототранзистора, а на рис. 99, *б* — его вольт-амперн
характеристики при различных световых потоках. Постро
ить световую характеристику, если $U_{кэ}$=-40 В; $R_н$=5 кО

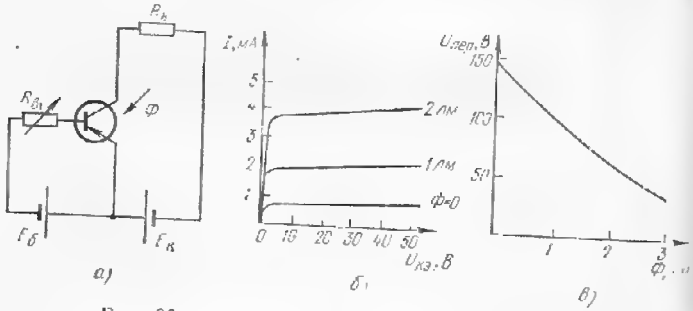


Рис. 99. *а*, *б* — к задаче 877, *в* — к задаче 880

878. Используя условие предыдущей задачи, опреде
лить, как изменится коэффициент усиления транзистора п
току по сравнению с темновым режимом, если $I_б$=0,02 мА.

879. Площадь, освещаемая в области базы транзистора,
составляет 2,2 мм². Какова фоточувствительность транзи
стора, если при изменении освещенности на 10^{-5} лк то
изменился на 0,1 мА?

880. На рис. 99, *в* представлена световая характеристика
напряжения переключения фототиристора. При каком све
товом потоке произойдет переключение тиристора, если
$U_{пер}$=50, 80, 130 В?

§ 35. ВЫПРЯМИТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Выпрямительное устройство должно обеспечить на на
грузке постоянное напряжение с максимальным к. п. д.

Коэффициент выпрямления определяется так:

$$k_в = \frac{R_{обр}}{R_{пр}}, \qquad (157)$$

где $R_{обр}$, $R_{пр}$ — сопротивления вентилей в обратном и прямом направлении.

Форма сигнала на выходе выпрямителя характеризуется коэффициентом пульсаций:

$$k_{по} = \frac{U_m}{2U_{ов}}, \qquad (158)$$

где U_1 — амплитуда 1-й гармоники выходного переменного напряжения; $2U_{ов}$ — постоянная составляющая выпрямленного напряжения (нулевая гармоника).

Для сглаживания пульсаций применяют фильтры, которые представляют собой устройства, имеющие небольшое сопротивление при низкой частоте входного сигнала.

Основным параметром сглаживающих фильтров является коэффициент сглаживания:

$$k_с = \frac{k_{п.о}}{k_{п.в}}, \qquad (159)$$

где $k_{п.о}$ — коэффициент пульсаций сигнала на входе фильтра; $k_{п.в}$ — коэффициент пульсаций на выходе фильтра.

Эти коэффициенты находятся из следующих уравнений:

для LR-фильтра

$$k_{с_{LR}} = \frac{\sqrt{(R_н + R_{др})^2 + (2\pi f_п L)^2}}{R_н + R_{др}}; \qquad (160)$$

для RC-фильтра

$$k_{с_{RC}} = 2\pi f_п RC;$$

для LC-фильтра

$$k_{с_{LC}} = k_{с_{RC}} k_{с_{LR}},$$

где $f_п$ — частота пульсаций, Гц; $R_{др}$ — активное сопротивление дросселя, Ом. Стабилизатор напряжения с полупроводниковым стабилитроном характеризуется балластным сопротивлением:

$$R_{бал} = \frac{U_{вх} - U_{ст}}{I_{ст} + I_н}, \qquad (161)$$

где $U_{ст}$ — паспортное значение напряжения стабилитрона; $I_{ст}$ и $I_н$ — токи стабилизатора и нагрузки.

Качество работы стабилизаторов оценивают коэффициентом стабилизации:

$$k_{ст} = \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}} \cdot \frac{U_н}{\Delta U_н}. \qquad (162)$$

Коэффициент стабилизации для схем на стабилитроне и бареттере определяется из следующих выражений:

$$k_{\text{ст.с}} = \frac{R_{\text{бал}} U_{\text{ст}}}{R_{\text{д}} U_{\text{вх}}};$$

$$k_{\text{ст.б}} = \frac{R_{\text{д}} I_{\text{ст}}}{U_{\text{вх}}}, \qquad (16)$$

где $R_{\text{д}}$ — дифференциальные сопротивления стабилитрона или бареттера в рабочем режиме.

Задачи

881. Изобразить осциллограммы сигналов на выходе каждого из элементов блок-схемы, приведенной на рис. 100, а) при однополупериодном выпрямлении; б) при двухполупериодном выпрямлении.

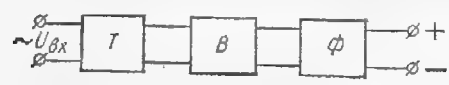


Рис. 100. К задаче 881;
Т — трансформатор, *В* — выпрямитель, *Ф* — фильтр

882. Рассчитать к. п. д. выпрямительного устройства, если мощности, потребляемые трансформатором, выпрямителем и фильтром, соответственно равны: $P_{\text{т}}=20$ Вт; $P_{\text{в}}=10$ Вт; $P_{\text{ф}}=5$ Вт, а полезная мощность, выделяемая в нагрузке, — 100 Вт.

883. Определить к. п. д. выпрямительной схемы, если $\eta_{\text{т}}=80\%$; $\eta_{\text{в}}=60\%$; $\eta_{\text{ф}}=89\%$. Как изменится к. п. д. всей схемы, если к. п. д. каждого элемента увеличится на 10%?

884. В схемах установлено два выпрямителя с коэффициентами выпрямления $k_{\text{в1}}=10^3$ и $k_{\text{в2}}=10^2$. В какой из схем к. п. д. будет выше? Определить обратное сопротивление выпрямителей, если в обоих случаях $R_{\text{н}}=10$ Ом.

885. Найти коэффициент пульсаций выпрямителя, на выходе которого амплитуда 1-й гармоники равна 100 В, а постоянная составляющая на выходе $U_{\text{с.в}}=40$ В. Как изменится постоянная составляющая, если $k_{\text{п}}$ уменьшить в 2 раза?

886. Найти коэффициент выпрямления диода по вольт-амперным характеристикам (рис. 91, *б*, *в*), если $U_{\text{вх}}=160$ В; $R_{\text{н}}=5$ кОм.

887. Используя условия предыдущей задачи, построить осциллограмму тока нагрузки, приняв масштаб, равный 1 мА/мм.

888. Изобразить осциллограмму тока на выходе схемы по рис. 101, *а* при изменении полярности диода.

889[1]. Рассчитать величины входных напряжения и тока однополупериодного выпрямителя, если нагрузочный режим соответствует $U_{о.в}=100$ В; $I_{о.в}=50$ мА.

890. Рассчитать величины входных напряжения и тока двухполупериодного выпрямителя, если нагрузочный режим соответствует $U_{о.в}=100$ В и $I_{о.в}=50$ мА: а) для мостовой схемы; б) для схемы со средней точкой.

891. Изобразить осциллограммы токов на выходе выпрямительных схем, приведенных на рис. 101.

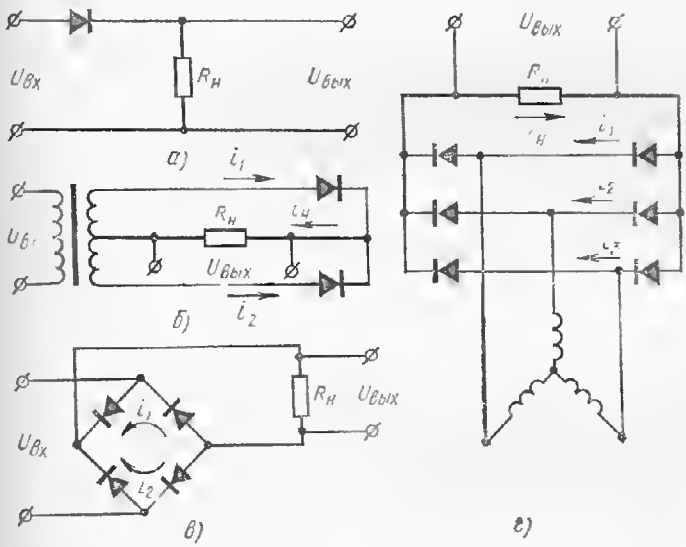


Рис. 101. Схемы выпрямления:
а — однополупериодная, *б* — двухполупериодная со средней точкой, *в* — двухполупериодная мостовая, *г* — трехфазная двухполупериодная.
К задачам 888, 891, 893

892. Рассчитать величины входных напряжения и тока трехфазной мостовой схемы выпрямителя при $U_{о.в}=100$ В и $I_{о.в}=50$ мА.

893. Изобразить осциллограмму тока в нагрузке выпрямителя по схеме, изображенной на рис. 101, *г*, при обрыве одной из фаз.

---

[1] При решении задач 889, 890, 892, 895 следует использовать параметры, приведенные в приложении 5.

894. Составить принципиальную электрическую сх трехфазного однополупериодного выпрямления и изоб зить осциллограммы тока на ее выходе.

895. Какие максимальные напряжения $U_{вых}$ и тока I можно получить в схемах, приведенных на рис. 101, с в них применяются диоды с допустимым обратным нап жением 100 В и допустимым прямым током 50 мА?

896. Схема однополупериодного выпрямителя (рис. 10 выполненного на электронном диоде, подключена к с переменного напряжения 127 В с частотой 50 Гц. Пост о график мгновенного значения тока резистора $R_н$ 2 кО если анодная характеристика л пы приведена на рис. 82, *а*.

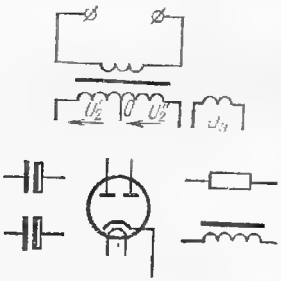


Рис. 102. К задаче 898

897. Используя услови п дыдущей задачи, определить дей вующие значения тока и напря ния на нагрузочном резисторе.

898. Из элементов, изображ ных на рис. 102, составить прин пиальную электрическую сх двухполупериодного выпрямит на кенотроне со сглаживающим L фильтром.

899. Увеличится ли коэф циент сглаживания, если параллельно конденсатору F фильтра подключить конденсатор емкостью C (рис. 103, *

900. Определить индуктивность в LR-фильтре (рис. 1 *б*) при коэффициенте сглаживания $k_{сгLR}=2{,}5$, если фил

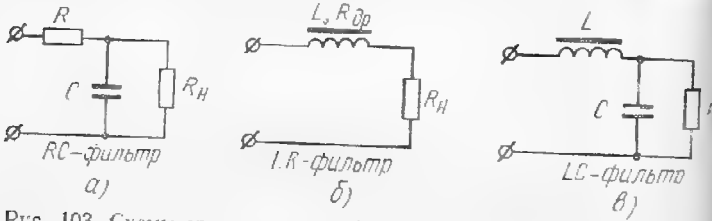


Рис. 103. Схемы сглаживающих фильтров К задачам 899, 900, 9 902, 903

подключен на выход двухполупериодной схемы с частото напряжения питающей сети $f_с=50$ Гц и $R_{др}=0$, а $R_н$ $=0{,}1$ кОм.

901. Найти емкость в RC-фильтре (рис. 103, *а*), ес $k_{сгRC}=5$; $R=1$ кОм, а фильтр подключен к схеме однопо периодного выпрямителя с $f_с=50$ Гц.

902. Чему равен коэффициент сглаживания в LC-фильтре (рис. 103, *в*), если $k_{сглR}=1{,}5$; $f_п=100$ Гц; $R=10$ кОм; $C=1$ мкФ?

903. Определить коэффициент сглаживания в LC-фильтре (рис. 103, *в*) трехфазной двухполупериодной схемы выпрямления, если $R_{др}=0$; $R=1$ кОм; $C=10$ мкФ; $L=100$ мГ; $R_н=0{,}1$ кОм; $f_с=100$ Гц.

904. Какова величина балластного сопротивления $R_{бал}$ при $U_{ст}=75$ В на стабилитроне (рис. 104, *а*), если $U_{вх}=80$ В; $I_{ст}=5$ мА; $I_н=20$ мА.

905. Как изменится коэффициент стабилизации и к. п. д. при увеличении балластного сопротивления в схеме стабилизатора напряжения (рис. 104, *а*)?

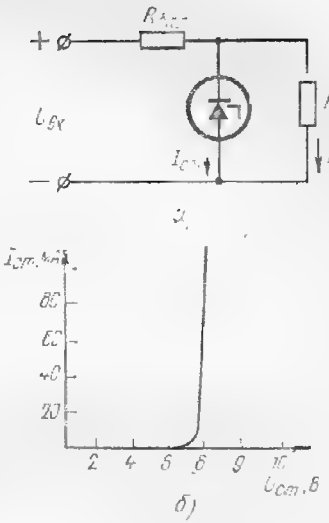


Рис. 104. Полупроводниковый стабилитрон:

а — схема включения — к задачам 904, 905, 906, 907; *б* — вольт-амперная характеристика — к задаче 907

906. Схема, изображенная на рис. 104, *а*, характеризуется следующими параметрами: $U_{вх}=20$ В; $R_{бал}=1{,}5$ кОм; $R_н=3$ кОм; $U_{ст}=18$ В, $R_д\approx 0$. Чему равен ток стабилитрона?

907. Используя вольт-амперную характеристику полупроводникового стабилитрона (рис. 104, *б*), найти его дифференциальное сопротивление и коэффициент стабилизации при токе стабилитрона $I_{ст}=20$ мА, если $U_{вх}=16$ В; $R_{бал}=10$ кОм.

908. Схема на рис. 104, *а*, в которую включен стабилитрон Д810, имеет следующие параметры: $U_{вх}=12$ В; $R_н=2$ кОм; $I_{ст}=40$ мА. Определить балластное сопротивление.

909. Используя условия задачи 907, найти такую величину балластного сопротивления, чтобы коэффициент стабилизации схемы был не менее 15.

910. Используя вольт-амперную характеристику баретера (рис. 105, *а*), найти его дифференциальное сопротивление и коэффициент стабилизации схемы, представленной на рис. 105, *б*, если $U_{вх}=20$ В; $R_н=10$ Ом.

911. Определить коэффициент стабилизации: а) для схемы на стабилитроне, если $U_{ст}=75$ В, $U_{вх}=80$ В, $R_{бал}=$

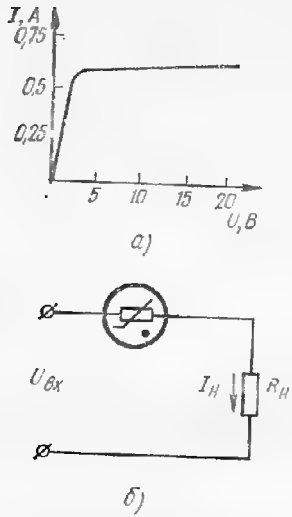


Рис. 105. Баретер:
а — вольт-амперная характеристика, *б* — схема включения — к задаче 910

$=1$ кОм, $R_д=20$ Ом; б) для баретерной схемы, если: $I_с=10$ мА, $U_{вх}=20$ В, $R_д=10$ кОм.

912. Схема включения ионного стабилизатора в цепь постоянного тока представлена на рис. 106, *а*. Как изменится напряжение на выходе схемы при изменении тока стабилитрона в пределах 150—400 мА, если анодная характеристика стабилитрона приведена на рис. 87, *б*? Определить дифференциальное сопротивление стабилитрона.

913. На рис. 106, *б* изображена схема управляемого стабилизатора напряжения на тиратроне с холодным катодом. Используя условия задачи 802, определить коэффициенты стабилизации указанных напряжений $U_з$, если $R_{с.д}=1{,}6$ кОм; $U_{вх}=200$ В.

914. На сколько процентов изменится напряжение в нагрузке схемы стабилизатора с $k_{ст}=100$, если входное напряжение меняется в диапазоне 15—19 В?

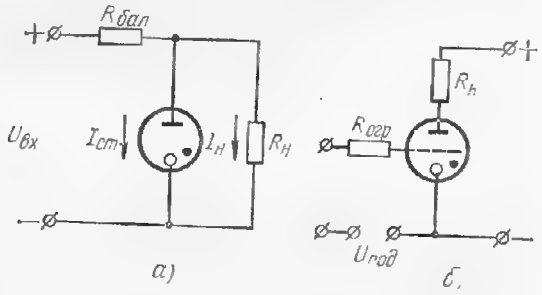


Рис. 106. *а* — к задаче 912, *б* — к задаче 913.
$U_{под}$ — источник напряжения поджигания тиратрона

915. Составить одну из возможных принципиальных электрических схем выпрямления, соответствующую блок-схеме на рис. 100.

§ 36. Усилители низкой частоты

В зависимости от соотношения величин выходного сопротивления усилительных схем $R_{вых}$ и сопротивления нагрузки $R_н$ усилители делятся на три класса: 1) усилители напряжения ($R_{вых} \ll R_н$); 2) усилители тока ($R_{вых} \gg R_н$); 3) усилители мощности ($R_{вых} \simeq R_н$).

Следует отметить, что усилители 1-го и 2-го классов также служат усилителями мощности.

Основными параметрами усилителей являются коэффициент усиления, коэффициент полезного действия и коэффициент нелинейных искажений.

Коэффициент усиления представляет собой отношение приращений выходного и входного сигналов:

по току

$$k_I = \frac{\Delta I_{вых}}{\Delta I_{вх}};$$

по напряжению

$$k_U = \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}}; \qquad (164)$$

по мощности

$$k_P = \frac{\Delta P_{вых}}{\Delta P_{вх}}.$$

Для оценки величины коэффициента усиления часто пользуются логарифмическими единицами — децибеллами (дБ). Коэффициент усиления, выраженный в децибеллах, определяется так:

$$k_{дб} = 20 \lg \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}} = 20 \lg k. \qquad (165)$$

Под к. п. д. усилителя понимают отношение мощности выходного сигнала к мощности, потребляемой от источника.

Коэффициент нелинейных искажений представляет собой следующую величину:

$$k_{н.и} = \sqrt{k_2^2 + k_3^2 + k_4^2 + \ldots}, \qquad (166)$$

где k_2, k_3, k_4 и т. д.— коэффициенты, представляющие собой отношения второй, третьей и т. д. гармоник к амплитуде первой гармоники.

Если одного усилителя в схеме недостаточно, то устанавливают многокаскадные усилители, коэффициент усиления которых равен произведению коэффициентов усиления каскадов.

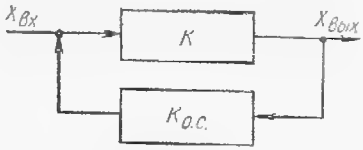


Рис. 107. Блок-схема усилителя с обратной связью

Для уменьшения искажений в усилители вводится отрицательная обратная связь. Под обратной связью усилителя понимают передачу части энергии с его выхода во входную цепь. Блок-схема усилителя с обратной связью показана на рис. 107. Коэффициент усиления усилителя с обратной связью определяется уравнением:

$$k_{ус} = \frac{k}{1 + k k_{о.с}}, \qquad (167)$$

где k — коэффициент прямого усиления; $k_{о.с}$ — коэффициент обратной связи.

Задачи

916. Объяснить, не противоречит ли явление усиления входного сигнала в усилителе закону сохранения и превращения энергии. Являются ли усилителями повышающий трансформатор, RC — фильтр?

917. Определить диапазон изменения: а) выходного тока пассивного устройства, если $I_{вх} = 20$ мкА, а $U_{вых} = 2\ U_{вх}$; б) входного напряжения активного устройства, если $U_{вых} = 10$ В, а $I_{вых} = 5\ I_{вх}$.

918. Чему равен выходной сигнал усилителей в режимах класса А и класса Б при нулевом входном сигнале?

919. Определить коэффициенты усиления k_I, k_U и k_P усилителя, на входе которого $I_{вх} = 1$ мА; $P_{вх} = 10$ мВт, а на выходе $U_{вых} = 250$ В; $P_{вых} = 2{,}5$ Вт.

920. Каким коэффициентам усиления k соответствуют величины $k_{дб} = 10$, 20, 40 дБ?

921*. В полосе пропускания допустимые изменения величины коэффициента усиления $k_{дб}$ не должны превышать 1—3 дБ. Каким процентным изменениям коэффициента k соответствуют эти величины?

922. Коэффициент усиления усилителя по полезному сигналу амплитудой 1 В составляет 20 дБ, а по помехе амплитудой 0,1 В — (– 10) дБ. Определить уровень помехи на выходе усилителя.

923. Чему равен к. п. д. усилителя с $k_P = 40$, если мощность входного сигнала составляет 10 мВт, а мощность, потребляемая от источника, равна 0,48 Вт?

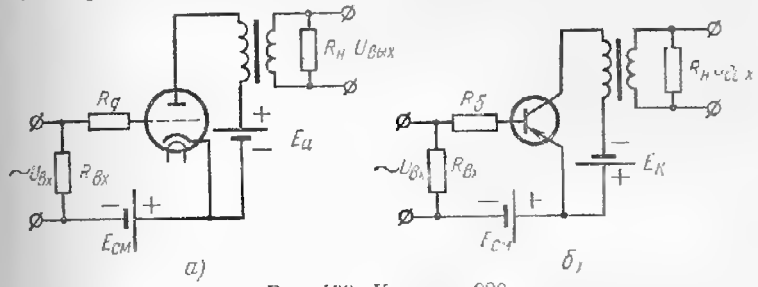
921. Найти к. п. д. усилителя на триоде, если мощность, выделяемая в цепи накала $P_н=10$ Вт, мощность, затрачиваемая в анодной и катодной цепи, $P_а$ 15 Вт, а мощность, выделяемая в нагрузке, равна 100 Вт.

925. Выбрать нагрузку усилителя, если общая потребляемая усилителем мощность 10 Вт, ток в нагрузке $I_{вых}=10$ мА при $\eta=70\%$.

926. Определить коэффициент нелинейных искажений при наличии в анодной цепи лампы трех составляющих гармоник с амплитудами: $I_{m1}=40$ мА; $I_{m2}=2$ мА; $I_{m3}=0{,}4$ мА.

927*. Найти коэффициент нелинейных искажений, если квадраты коэффициентов k_2, k_3, k_4 и т. д. убывают по геометрической прогрессии со знаменателем $1/6$, а $k_2=1/4$.

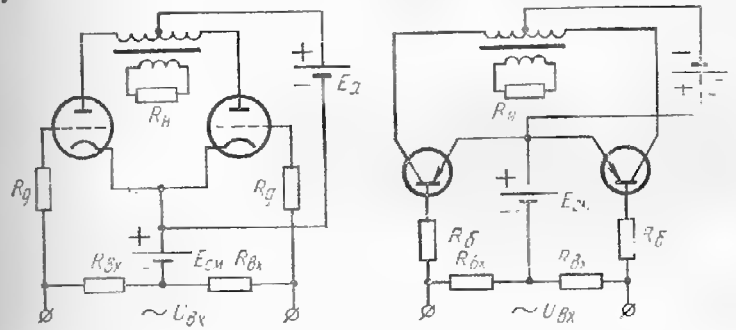
928. Изобразить осциллограммы токов $I_н$, $I_а$ (или $I_к$) и I_g (или $I_б$) в схемах однотактных усилителей на рис. 108, *а* и *б*.



а) *б)*

Рис. 108. К задаче 928

929. Изобразить осциллограммы токов $I_н$, $I_{а1}$, $I_{а2}$ (или $I_{к1}$, $I_{к2}$) и I_{g1}, I_{g2} (или $I_{б1}$, $I_{б2}$) в схемах двухтактных усилителей на рис. 109, *а* и *б*.



а) *б)*

Рис. 109. К задачам 929, 930

930. Как изменится ток в нагрузке схемы по рис. 109, *б* при обрыве одного из сопротивлений $R_б$? Изобразить осциллограммы тока до и после обрыва.

931. На рис. 110, *а* представлена простейшая транзисторная схема, носящая название эмиттерного повторителя. Доказать, что коэффициент усиления по напряжению этой схемы не превышает $k_U \leqslant 1$. Изобразить осциллограмму тока в нагрузке схемы по рис. 110, *а* при переменном входном сигнале.

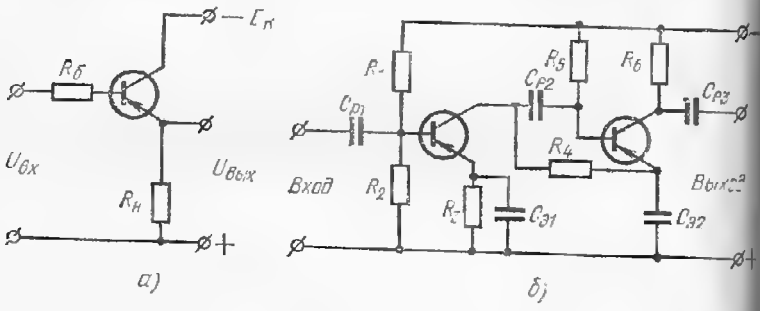


Рис. 110. *а* — к задаче 931, *б* — к задаче 942

932. Выбрать элементы схемы усилителя на триоде (рис. 108, *а*) при условии, что частота входного сигнала $f = 100$ кГц, а мощность, потребляемая нагрузкой усилителя, не превышает 0,1 Вт.

933. Выбрать элементы и тип транзистора в схемах усилителей на транзисторах (рис. 108, *б*, 109, *б*) при условии, что частота входного сигнала составляет 0,5 МГц, а мощность, потребляемая нагрузкой, не превышает 50 мВт.

934. Определить коэффициент усиления четырехкаскадного усилителя, если коэффициент усиления каждого каскада равен 5.

935*. Коэффициент усиления трех каскадов равен 80[illegible]. Найти коэффициенты усиления каждого каскада, если коэффициент усиления каждого каскада в 10 раз больше предыдущего.

936. Коэффициенты усиления трехкаскадного усилителя равны: $k_{дб1} = 24$; $k_{дб2} = 35$; $k_{дб3} = 48$ дБ. Рассчитать ток на выходе при входном токе 2 мкА.

937. Определить коэффициент обратной связи, если при $U_{вх} = 10$ В сигнал на выходе, равный $U_{1вых} = 100$ В, после введения обратной связи понизился до 80 В.

938. Чему равен коэффициент усиления усилителя с обратной связью, если $k_{о.с}k \gg 1$?

939. Каков максимальный коэффициент обратной связи, если коэффициент усиления должен быть не менее 10 в усилителе с обратной связью? При отсутствии обратной связи коэффициент усиления равен 30.

940. Коэффициенты усиления прямой и обратной связи соответственно равны: $k_{дБ}=30$ дБ и $k_{о.с.дБ}=-5$ дБ. Найти коэффициент усиления усилителя с обратной связью $k_{ус}$.

941. Используя блок-схему на рис. 107, ввести в схемы включения транзисторов (рис. 111, *а*, *б*) обратную связь по напряжению и току. Звено обратной связи представляет собой резистор.

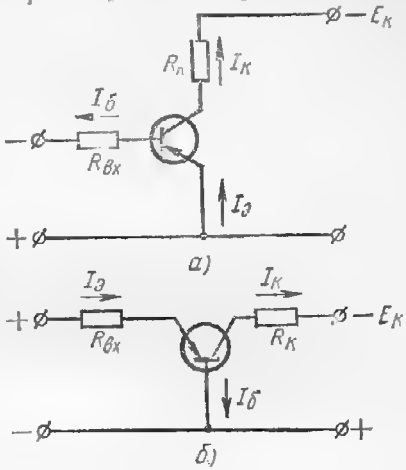


Рис. 111. К задаче 941

942. Объяснить назначение элементов в схеме двухкаскадного усилителя (рис. 110, *б*). Какие элементы схемы можно использовать для регулировки коэффициентов усиления первого и второго каскадов, коэффициента частотных искажений, коэффициентов обратной связи?

943. Выбрать тип транзистора для работы в усилителях на основании паспортных данных транзисторов: а) $f=50$ кГц; $I_к=10$ мА; $\beta=50$; б) $f=1$ МГц; $I_к=1$ мА; $\beta=100$; в) $f=1$ кГц; $I_к=0{,}1$ А; $\beta=50$.

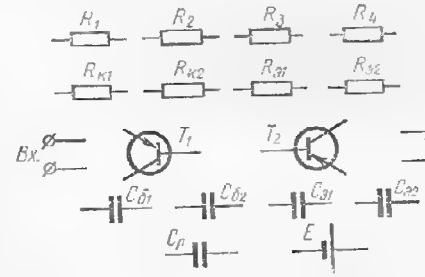


Рис. 112. К задаче 944

944. На рис. 112 даны элементы двухкаскадного усилителя на транзисторах. Составить его принципиальную электрическую схему.

§ 37. ГЕНЕРАТОРЫ КОЛЕБАНИЙ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Для преобразования энергии постоянного тока в гармонические колебания высокой частоты служат генераторы с резонансным контуром.

Резонансный контур характеризуется резонансной частотой $f_{рез}$, добротностью K и полосой пропускания f_d:

$$f_{рез} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\ [\text{Гц}];$$

$$K = \frac{2\pi f_{рез} L}{R_L} = \frac{1}{2\pi f_{рез} R_L C}; \qquad (168)$$

$$f_d = \frac{2\pi f_{рез}}{K}\ [\text{Гц}],$$

где R_L — активное сопротивление дросселя, Ом.

Для получения прямоугольных колебаний высокой частоты используются мультивибратор и блокинг-генератор. Прямоугольные импульсы характеризуются следующей зависимостью:

$$T = \tau_и + t_п, \qquad (169)$$

где T — период колебаний, с; $\tau_и$ — время импульса; $t_п$ — время паузы.

Задачи

945. Определить резонансную частоту контура со следующими параметрами: L=1 мГ, C=10 мкФ.

946. Емкость резонансного контура 1 мкФ. Какую индуктивность следует выбрать, чтобы частота контура была 10 кГц?

947. Найти добротность контура со следующими параметрами: L=10 мГ; R=10 Ом; C=1 мкФ.

948. Добротность контура должна быть $\geqslant$100. Какими должны быть индуктивность и емкость, если R_L=50 Ом; $f_{рез}$=5 кГц?

949. Полное сопротивление контура на резонансной частоте f=10 кГц равно 10 Ом. Найти его добротность, если емкость 0,2 мкФ.

950. Рассчитать полосу пропускания резонансного контура добротностью 80 при $f_{рез}$=10, 20, 50 кГц.

951. Определить частоту генерируемых синусоидальных колебаний, если резонансный контур генератора имеет $K=60$ и $f_d=1$ кГц.

952. Определить характер обратной связи в генераторах синусоидальных колебаний (рис. 113). Какое соотношение между коэффициентами усиления каскада и обратной связи выполняется на резонансной частоте?

953. Какой тип транзистора необходимо выбрать в схеме на рис. 113, *б*, если частота генерируемых колебаний 0,5 МГц, а их мощность 10 мВт?

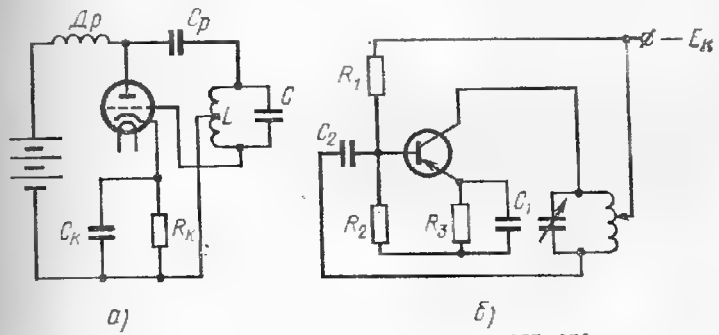


Рис. 113. К задачам 952, 953, 954, 955, 956

954. Как зависит частота колебаний генератора (рис. 113) от напряжения питания? Какие элементы схемы генератора необходимо изменять для регулирования частоты генерируемых колебаний?

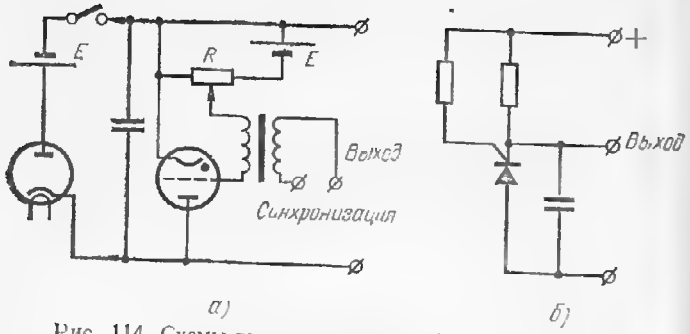
955. Какие изменения произойдут в работе генератора (рис. 113, *а*) при обрыве сопротивления $R_к$?

956. Указать характер сигналов в анодной, катодной и сеточной цепях лампы в схеме генератора на рис. 113, *а*.

957. Объяснить назначение элементов схемы генератора пилообразного напряжения на тиратроне (рис. 114, *а*). Какого типа диод и тиратрон можно выбрать в схеме, если $E_а=180$ В, а частота колебаний на выходе схемы 200 кГц.

958. Какими параметрами элементов схемы генератора пилообразного напряжения (рис. 114, *а*, *б*) определяется частота генерируемых колебаний?

959. Используя вольт-амперные характеристики тиристора на рис. 93, *а*, определить максимальную величину сопротивления $R_н$, выше которой схема генератора пилообразного напряжения (рис. 114, *б*) не работает. Принять $U_{упр}=250$ В, управляющий ток 2 мА.



а) *б)*

Рис. 114. Схемы генераторов пилообразных колебаний:
а — на тиратроне, *б* — на тиристоре. К задачам 957, 958, 959

960. Частота прямоугольных колебаний составляет 100 кГц. Чему равны время импульса и паузы, если $\tau_и = 0{,}1\, t_п$? Найти скважность импульсов при $\tau_и = 0{,}1\, t_к$; $\tau_и = t_п$; $\tau_и = 10\, t_п$.

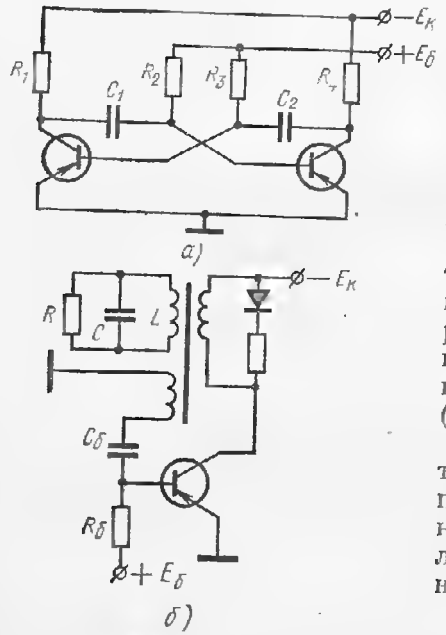


Рис. 115. Схемы генераторов прямоугольных колебаний
а — мультивибратор, *б* — блокинг-генератор. К задачам 961, 962, 963, 965

961. Какая будет скважность прямоугольных импульсов на выходе мультивибратора на рис. 115, *а*, если схема симметрична? В каких пределах может изменяться скважность?

962. Указать характер сигналов цепей базы и коллектора транзисторов в схемах мультивибратора (рис. 115, *а*) и блокинг-генератора (рис. 115, *б*).

963. Какими элементами схем генераторов прямоугольных колебаний (рис. 115) определяется передний и задний фронт импульсов?

964. Какие элементы схем на рис. 113 можно использовать для регулировки амплитуды или частоты колебаний?

965. Величинами каких элементов схем на рис. 115 необходимо управлять для осуществления амплитудной или частотной модуляции генерируемого сигнала?

966. На рис. 116, *а* показан пример амплитудной модуляции высокочастотных гармонических колебаний частотой 10 кГц. Записать закон изменения напряжения модулированного сигнала, если амплитуда меняется так: $A = A_0 + A_m \sin 314\, t$.

967. На рис. 116, *б* приведен пример частотноимпульсной модуляции. Как изменится скважность импульсов,

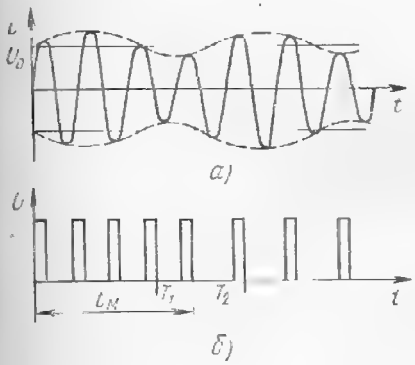


Рис. 116. *а* — к задаче 966, *б* — к задаче 967

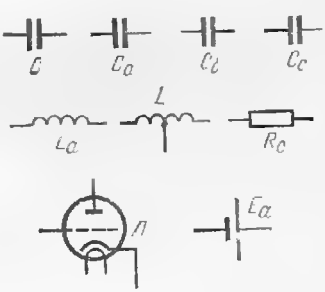


Рис. 117. К задаче 968

если, начиная с некоторого момента времени $t_м$, частота уменьшится втрое?

968. Используя элементы электронного генератора (рис. 117), составить его принципиальную электрическую схему.

§ 38. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ

Применение электронных схем в системах автоматики обусловлено широким кругом задач, которые решаются с их помощью на современном уровне развития народного хозяйства.

Задачи

969. Как изменится время срабатывания реле времени (рис. 118), если: а) увеличить емкость C; б) уменьшить сопротивление R.

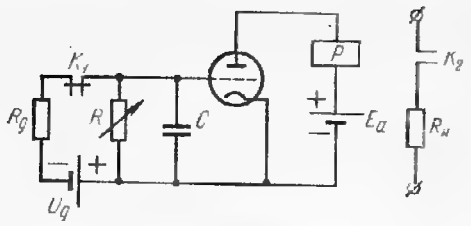


Рис. 118. К задаче 969

970. Объяснить принцип действия электронного реле напряжения, схема которого представлена на рис. 119, *а* используя характеристику на рис. 119, *б*.

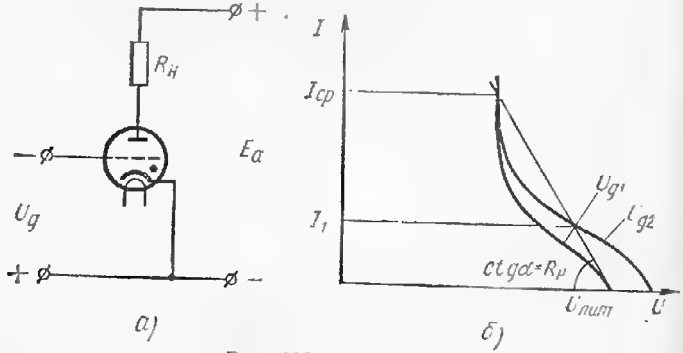


Рис. 119. К задаче 970

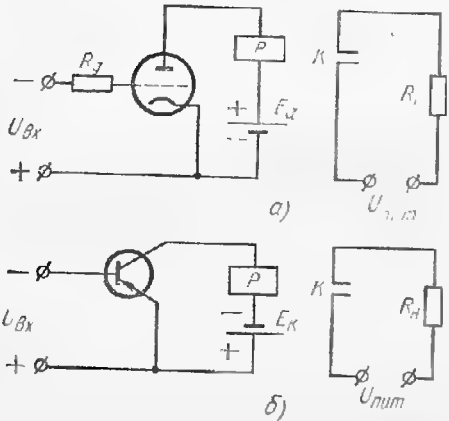


Рис. 120 *а*—к задаче 971, *б*—к задаче 973

971. Определить коэффициент усиления триодного реле k_I (рис. 120, *а*), если для срабатывания реле $I_а = I_{ср} = 100$ мА, а сеточный ток $I_g = 5$ мА.

972. Рассчитать величину коэффициента усиления β в схеме с общим эмиттером, выходной ток которой $I_к$ питает обмотку исполнительного реле и должен быть

не менее 6 мА при T=350 К. Ток $I_{к.о1}$=2,5 мкА при T_1= =290 К, $I_б$=25 мкА, $B_к$=6000 К.

973. Найти базовый ток для срабатывания реле (рис. 120, *б*), если β=50, а $I_к$=$I_{ср}$=50 мА; $I_{к\,0}\approx$0.

974. На рис. 121 изображена схема с двумя устойчивыми состояниями — симметричный триггер. В исходном состоянии открыт правый транзистор. Какой полярности сигнал необходимо подать на вход схемы для открытия левого транзистора?

975. Указать цепи обратной связи в схеме на рис. 121. Что произойдет в схеме при обрыве резистора R_2, если в исходном состоянии открыт правый транзистор?

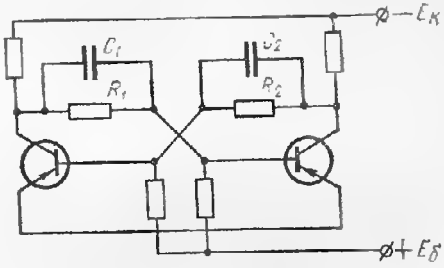


Рис. 121. К задаче 974, 975

976. Определить напряжение питания схемы тепловой защиты (рис. 90, *а*), чувствительным элементом которой является терморезистор с R_∞=0,1 Ом; $B_т$=4000 К. Сопротивление обмотки реле 100 Ом, а величина тока срабатывания при допустимой температуре 400 К составляет 10 мА.

977. Каким должно быть максимальное напряжение терморезистора в релейной схеме, если $U_{пит}$=50 В; $R_н$= =2 кОм; $I_{ср}$=10 мА?

978*. Для загорания лампы сопротивлением 2 кОм на пульте управления, сигнализирующей о превышении допустимого значения температуры $T_{доп}$=380 К, необходимо приложить к ней напряжение 20 В. Какой терморезистор следует последовательно подключить к лампе, если $U_{пит}$= =40 В, а ток в цепи не должен быть более 10 мА? Ток в цепи при 300 К равен 1 мА.

979. Как происходит преобразование температуры в электрический сигнал в схеме реле, представленной на рис. 90, *а*? При решении использовать характеристику на рис. 90, *в*.

980. Каким образом можно произвести настройку реле температуры на терморезисторе (рис. 90, *а*) на другую температуру среды?

981. Определить коэффициент фоточувствительности фотоэлемента для того, чтобы схема (рис. 94, *б*) сработала при световом потоке Ф=100 лм. $I_{ср}$=$I_н$=10 мА.

982. Какова величина светового потока, при котором произойдет срабатывание схемы реле на фоторезисторе, аналогичной схеме на рис. 90, *а*, если $s_\Phi = 1$ мА/лм, а ток срабатывания $I_\Phi = 0{,}1$ мА.

983. Какие схемы реле могут быть использованы в схемах противопожарной защиты?

984. Используя блок схему простейшего радиоприемника (рис. 122, *а*), составить одну из его возможных принципиальных электрических схем. Указать вид (форму) сигнала на выходе каждого блока-схемы.

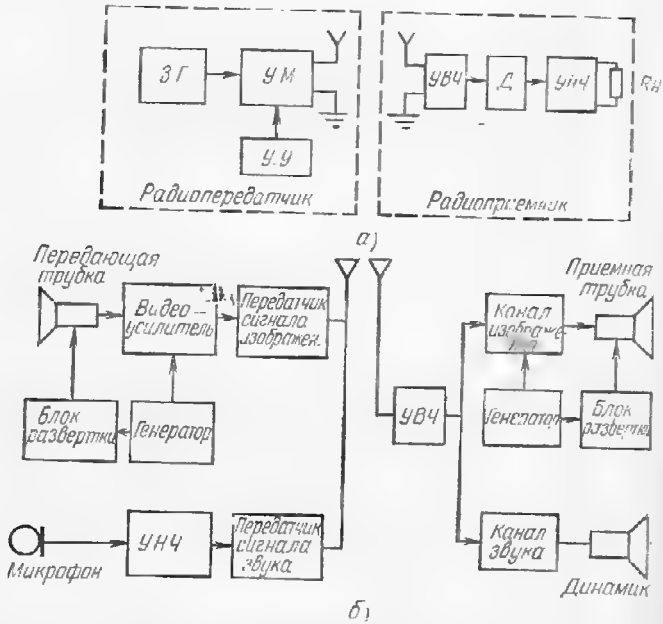


Рис. 122 *а* — к задаче 984, *б* — к задаче 987:
ЗГ — звуковой генератор, *УМ* — усилитель мощности, *УУ* — управляющее устройство, *УВЧ* — усилитель высокой частоты, *Д* — детектор, *УНЧ* — усилитель низкой частоты

985. Какие сигналы являются входными и выходными в транзисторном радиоприемнике? Какие помехи вы можете в этом случае указать?

986. Три усилителя имеют следующие полосы пропускания: 10 Гц — 20 кГц; 40—100 кГц; 1—3 МГц. Какой из этих усилителей может быть использован в качестве выходного каскада канала звука в радиоприемнике?

987. Определить необходимый коэффициент усиления видеоусилителя в канале передачи изображения телевизора (рис. 122, *б*), если минимальный ток передатчика 0,5 мА, коэффициент фоточувствительности передающей трубки $s_ф$ = =10 мкА/лм, а минимальный световой поток изображения 2 лм.

988. Телевизор проработал безотказно в течение трех лет. Был ли исчерпан гарантийный срок кинескопа $t_{гар}$ = =2500 ч, если телевизор работал в среднем 3 ч в сутки?

989. Объяснить, что такое плотность монтажа в электронных схемах. Как зависит надежность электронной аппаратуры от плотности монтажа?

990. Составить простейшие принципиальные электрические схемы, позволяющие выполнять логические операции «И»; «ИЛИ»; «НЕ».

991. Почему в электронных вычислительных машинах сигнал кодируется обычно в двоичной системе исчисления? Какое максимальное число может быть записано с помощью десятиразрядного вычислительного блока?

Глава I

5. $\simeq 5{,}55\cdot 10^{14}$ с. **6.** $\simeq 6\cdot 10^{23}$. **11.** 2. **12.** $\simeq 3{,}3\cdot 10^{-8}$ Кл. Указание: вес шара уравновешивается кулоновской силой отталкивания между шаром и заряженным телом. **13.** $\simeq 0{,}08$ Кл/м². **14.** $\simeq 33$ мм с меньшего заряда. **15.** $\simeq 8{,}6\cdot 10^{-14}$ Кл. **16.** $\varepsilon(t)=\dfrac{1}{1-0{,}8e^{-\frac{t}{\tau}}}$; $\varepsilon=5$ Указание: диэлектрическая проницаемость газа определяется как предел функции $\varepsilon(t)$ при $t\to\infty$. **19.** 2,9 Н. Указание: сила, действующая на шар B, представляет собой результирующую двух сил $-F_{AB}$ и F_{CB}. **20.** 0,01 Н; 1 Н. **21.** 221 В. **22.** 1 Н; 0,5 Н. **23.** $3\cdot 10^{-3}$ Дж; $1{,}5\cdot 10^{-3}$ Дж. **24.** 0,6 м; —60 В. **25.** а) 25 В; б) 50 В; 0,25 м. **26.** 0,1 Дж; 10 Дж. **27.** $8\cdot 10^{-3}$ Кл. **28.** $5\cdot 10^{-5}$ К. **29.** $\simeq 0{,}62$ нФ. **33.** $\simeq 4{,}5\cdot 10^{-2}$ м². **34.** $\simeq 0{,}557$ нФ. **35.** $\simeq 56{,}5$ **36.** $5\cdot 10^{-3}$ м². Указание: нужно составить систему двух уравнений относительно неизвестных S и C. **37.** 0,05 Дж. **38.** $\simeq 1$ **39.** 10 мкФ; 6,6 мкФ.

Глава II

42. $1{,}25\cdot 10^{15}$. **43.** $\simeq 31{,}25$ мм/с. Указание: нужно воспользоваться известной из курса физики формулой: $I=enuS$, где e — заряд электрона, Кл; n — число заряженных частиц в единице объема; u — скорость перемещения электронов, м/с; S — площадь сечения, м². **44.** 10 мм². **45.** $\simeq 3{,}6$ мм. **48.** $\simeq 1{,}5$ мм. **49.** $\simeq 0{,}09$ Ом; $\simeq 78$ Ом. **50.** 65 мм². **51.** $3{,}14\cdot 10^{-8}$ Ом·м. **52.** $\simeq 3{,}8$ мм. **53.** 50 м. См. указание к задаче 36. **54.** 8 Ом; 5 Ом. **55.** $294\cdot 10^{-7}$ Ом·м. **56.** 303 К. **57.** $5\cdot 10^{-3}$ 1/К. **58.** $\simeq 420$ Ом. **59.** 11 кОм. **60.** 10^{-3} 1/К. **63.** 75 Ом. **64.** $\simeq 8$ м. **65.** 15,8 мм². Указание: отношение сечений медного и алюминиевого проводов прямо пропорционально отношению их удельных сопротивлений. **67.** 200 В; $\simeq 47{,}6$ В. **68.** 22,5 Вт. **69.** 1) Увеличить в 4 раза; 2) уменьшить в 9 раз. **71.** 1,224 В. **72.** 56,1 м. **73.** 0,5 Ом. **74.** 6 Ом; 4 Ом. **76.** 0,5 кОм. **77.** 91%. **78.** 14 В; 2 Ом. См. указание к задаче 3 **80.** $P=\dfrac{E^2R_{\text{н}}}{(R_{\text{вн}}+R_{\text{н}})^2}$. Указание: график этой функции следует построить, откладывая по оси ординат значения $R_{\text{н}}$, кратные значениям $R_{\text{вн}}$, т. е. $R_{\text{н}}=0{,}1R_{\text{вн}}$; $R_{\text{н}}=0{,}5R_{\text{вн}}$; $R_{\text{н}}=R_{\text{вн}}$; $R_{\text{н}}=2R_{\text{вн}}$ и т. д. **81.** Уменьшится на 1,5 мА. **82.** 0,55 мм. **83.** 15 В; 30 Ом. **84.** 350 Ом. См. указание к задаче 36. **85.** а) $I_1=\dfrac{2}{5}\dfrac{E}{R}$; $I_2=-\dfrac{6}{5}\dfrac{E}{R}$; $I_3=\dfrac{4}{5}\dfrac{E}{R}$; б) $I_1=\dfrac{E}{R}$; $I_2=0$; $I_3=\dfrac{E}{R}$. Указание: нужно соста

вить систему из трех уравнений: 1) уравнение токов в узле I; 2) уравнение напряжений в контуре I; 3) уравнение напряжений в контуре II.

86. $\simeq$83,5 В. **87.** 0,1 А. **88.** 16 мВт. **89.** 50 В; 0. **91.** $\frac{5}{3}R$. **92.** 0 R_2.

93. $\simeq 1{,}08$ А. **95.** $R_1 = R_2$. **97.** Указание: рассмотреть подобие треугольников *aet* и *adb*, *etb* и *cab*. **98.** При полностью выведенном реостате $I \simeq 2{,}86$ А; U 85,8 В. При полностью введенном реостате $I \simeq 1{,}54$ А; $U \simeq 46{,}2$ В. **99.** 30 кОм. **100.** 14,5 кОм. Указание: воспользоваться формулой для суммы членов арифметической прогрессии. **101.** 1,4 В. Указание: воспользоваться формулой для n-го члена арифметической прогрессии. **102.** 500 Ом. Указание: воспользоваться формулой для суммы членов убывающей геометрической прогрессии. **103.** 3,14 мА. Указание: воспользоваться формулой для n-го члена убывающей геометрической прогрессии. **105.** Для последовательного соединения $n=3$; для параллельного $n=7$. **106.** $R_{\text{н}} = R_{\text{вн}}$. **107.** 16 В. **111.** 64 коп. **112.** 1,95 кОм. **113.** 1 руб. **114.** 600 Дж. **115.** $\simeq 0{,}7$ А. **116.** 0,58 А; 3,3 Дж. См. указание к задаче 36. **117.** В резисторе $R=4$ Ом. **119.** $\simeq 4$ г. **120.** 5 А. **121.** 12 А. **122.** 9,6 ч. **123.** а) 9,5 ч; б) 5,4 ч; в) 4,2 ч. Указание: для определения времени покрытия надо найти площади пластин. **125.** $m = \frac{k_2 I_0 t}{at+1}$. **126.** 0,5 А; 3 г. См. указание к задаче 36.

Глава III

130. 2 Н. **131.** $2{,}22 \cdot 10^{-4}$ Г/м. **132.** 177. **133.** 10 А. **134.** 0,1 Т. **135.** 0,25 м. **136.** $1{,}6 \cdot 10^{-4}$ Вб. **137.** 11,8 мм². **138.** $6{,}28 \cdot 10^{-4}$ Г/м. **139.** 3,2 А/м. **140.** $4 \cdot 10^{-6}$ Т. **141.** 20 А. **142.** 0,4 м. **143.** 0,8 Н. **144.** 273 А. **145.** 750 А/м. **146.** 1350 А. **147.** 1 А/мм². **148.** $\simeq 1{,}4$ Т. **149.** $\simeq 0{,}4$ Т; $\simeq 1$ Т. **150.** $\simeq 14$ А. **151.** 1000 1/Г. **152.** 568 витков. Указание: закон полного тока для магнитной цепи в данном случае запишется так: $Iw = H_{\text{ст}} l_{\text{ст}} + H_\delta l_\delta$. **153.** $1{,}3 \cdot 10^6$ А/м. См. указание к задаче 152. **154.** $1{,}63 \cdot 10^{-4}$ Вб. **155.** $9 \cdot 10^{-2}$ Вб. **157.** $F_1 = 10^{-3}$ Н; $F_2 = F_3 = 0{,}87 \cdot 10^{-3}$ Н. Указание: сила, действующая на каждый проводник, определяется как результирующая сила взаимодействия между этим проводником и двумя другими: $F = \sqrt{F_A^2 + F_B^2 + 2F_A F_B \cos(2\alpha - \alpha)}$, где F_A и F_B – составляющие силы, α – угол между ними. **158.** 1200 Н. **160.** 1000 Н. **161.** 900 Н. **165.** 0,9 В. **166.** $6 \cdot 10^4$ А/м. **167.** 0,24 м. **168.** $5 \cdot 10^{-5}$ Т. **169.** 1,2 Т. **170.** 40 м/с. **171.** 2 Вб/с. **172.** —1,25 Вб. **173.** 12,5 А. **176.** —10 В. **179.** $4 \cdot 10^{-3}$ Вб. **180.** 0,2 Т. **181.** 5000. **182.** 0,05 Г. **183.** 1,4 Г; 0,6 Г. **184.** 0,25. **185.** 0,25. **186.** 31,25 мГ. **187.** 0,15 Г. **189.** 2,02 В. **190.** 0,675 Н. **191.** 1,125 Т. **193.** В 1,43 раза. **194.** 0,8 Вт.

Глава IV

199. 21 мс. **200.** 7,2°. **201.** 0,8 А. **204.** 62,8 рад/с. **205.** 635 В; 20 мс. **207.** 2,5 мс. **208.** 50 Гц. **210.** $\psi_1 \pm \psi_2$. **214.** 71 В; 142 В. **216.** 10 А; 120 В; 12 Ом. **218.** 323 К. **219.** $i = 8{,}5 \sin(314t - 45°)$ [мА]. **220.** 35,6 мм². **221.** 640 Ом. **222.** 40 нФ. **223.** 160 Гц. **224.** $C = \frac{1}{\omega^2 L}$;

$P=\frac{U_m^2}{2R}$. **225.** $i=0{,}195\sin(628t+\pi/2)$ [А]. **228.** 105 Вт; 7,7 А. **229.** 4,8 А; $i=6{,}8\sin(2500t-\pi/2)$ [А]. **230.** 3,14 Ом. **231.** 0,32 Гн. **233.** 800 Гц. **236.** $i_R=10\sin(314t-45^\circ)$ [мА], $i_L=320\sin(314t-\ldots)$ [мА]; $i_C=31{,}4\sin(314t+45^\circ)$ [мА]. **237.** 400 Ом; 0,64 Г; 4 мкФ. **239.** $U_{R1}=150$ В; $U_{R2}=168$ В; $U_L=94$ В; $U_C=51$ В. Указание: используя закон Ома, нужно составить уравнения для участков цепей: $U_{R1}=\frac{U}{z_1}\cdot R_1$; $U_{R2}=\frac{U}{z_2}\cdot R_2$; $U_L=\frac{U}{z_1}\cdot X_{L1}$; $U_C=\frac{U}{z_2}\cdot X_{C2}$, где $z_1=\sqrt{R_1^2+X_L^2}$; $z_2=\sqrt{R_2^2-X_C^2}$. **240.** 1,7 мкФ. См. указание к задаче 239. **241.** $I_1=\frac{U}{R_1\sqrt{1+\frac{X_L^2}{R_1^2}}}$; $I_2=\frac{U}{R_2\sqrt{1+\frac{X_C^2}{R_2^2}}}$. См. указание к задаче 239. **243.** 16 кГц. **244.** 25,5 пФ. **245.** 2,55 мГ. **248.** 21,3 А; 106,5 В; 2,25 кВА, 2,1 кВт; 0,77 квар. **250.** 10 Ом. **252.** 0,8. **253.** а) 381 Вт; 330 Вт; 190 Вт; 0; б) 190 вар; 330 вар; 381 вар; в) 381 ВА. **254.** 22 Вт. **255.** 0,4 А. **256.** $R=100$ Ом; $z=127$ Ом, $\cos\varphi=0{,}79$. **257.** 970 Вт; 760 Вт. **258.** 0,4. См. указание к задаче 36. **259.** 70,5 мА. **260.** а) 16,3 ВА; 10,6 Вт; —12,4 вар; б) 25 ВА; 25 Вт; 0; в) 16,3 ВА; 10,6 Вт; 12,4 вар. **261.** 6 ВА; 1,5 Вт; 5 вар. **263.** R. **264.** 13,2 мкФ. **265.** Уменьшится в 1,5 раза. **267.** 0,666 мкФ. См. указание к задаче 102. **269.** 6 мДж. **270.** 2,13 кОм. **271.** 0,4 А. См. **272.** 16,5 мкФ. См. указание к задаче 100. **273.** $C_1=C_2$. **274.** $\frac{C_1C_3+C_2C_3}{C_1+C_2+C_3}$. **275.** 2,2 С. **276.** 0,215 А; 47,5 вар; 73 мДж. **278.** 45 В; 320 В; 324 В. **279.** 3,655 В; 1,353 В; 0,0674 В; 0,6931 мс. Указание: использовать приложения №№ 6, 7. **280.** 0; U_0. **281.** 6,28 Ом. **282.** 0,566 Ом. **283.** 0,165 Г. См. указание к задаче 102. **284.** 1,48 мГ. **285.** 3,45 L. **286.** 31 мГ. **287.** 68 Г. **288.** 56,5 Ом; 0,15 мГ. **289.** $P=\frac{U^2R}{R^2+X_L^2}$. См. указание к задаче 80. **290.** 22 Ом; 62,5 мГ. **291.** $I_R=I_L\simeq 10$ А; $U_R=150$ В, $U_L=157$ В; $\varphi=47^\circ$. **292.** а) 68%; б) 96%. **293.** —96 Ом. **294.** 105 Ом. **296.** 34 мкФ. **299.** $I_1=0{,}26$ А; $I_2=-0{,}127$ А. **302.** 17,2 Ом; 12,8 А. **303.** 200 В; 400 ВА; 320 Вт; 240 вар. **304.** $R=14{,}7$ Ом; $X=7{,}15$ Ом; $z=16{,}4$ Ом; $I=7{,}75$ А; **306.** 149 Ом; 44,7 В. **308.** 135 Ом; 110 В. Указание: полное сопротивление цепи находится как величина, обратная проводимости: $z=\frac{1}{\sqrt{(g_1+g_2)^2+(b_1+b_2)^2}}$ где: $g_1=\frac{R_1}{z_1^2}$; $g_2=\frac{R_2}{z_2^2}$; $b_1=\frac{X_1}{z_1^2}$; $b_2=\frac{X_2}{z_2^2}$. **309.** $I_1=0{,}115$ А; $I_2=0{,}06$ А. **316.** $e_C=E_m\sin\omega t$; $e_B=E_m\sin(\omega t+120^\circ)$. **318.** 2,5 кВ. **319.** $I_л=17{,}8$ А; $I_ф=10{,}3$ А. **320.** а) 0,185 А; 380 В; б) 0,107 А; 220 В. **321.** а) 80,5 мА; 127 В; б) 46,5 мА; 220 В. **322.** $I_{лA}=0{,}153$ А; $I_{лB}=0{,}103$ А; $I_{лC}=0{,}107$ А; $U_{лA}=U_{лB}=U_{лC}=220$ В. **323.** $\cos\varphi_A=0{,}56$; $\cos\varphi_B=0{,}196$; $\cos\varphi_C=0{,}485$; $P_A=18{,}8$ Вт; $P_B=4{,}65$ Вт; $P_C=11{,}3$ Вт. **324.** $I_{лA}=0{,}212$ А; $I_{фA}=0{,}122$ А; $I_{лB}=0{,}153$ А; $I_{фB}=0{,}088$ А; $I_{лC}=0{,}131$ А; $I_{фC}=20{,}076$ А. **325.** $\cos\varphi_A=0{,}289$;

$\cos\varphi_B$—0,555; $\cos\varphi_C$=0,298. **325.** P_A=13,5 Вт; P_B=18,7 Вт; P_C=8,6 Вт. **326.** 104 Вт; 85 Вт; 60 Вт. **327.** 100 Вт. См. указание к задаче 36. **328.** 16,2 МДж. **329.** 34,5 Ом. **336.** 0,66 А. **346.** 0,455 А. **347.** I_1=0,21 А; I_2=0,275 А; φ_1=58°, φ_2=64°. Указание: токи потребителей соответственно равны фазным токам I_{AB} и I_{CB}. **348.** $I_B=I_C$=1,9 А; I_A=2,18 А; U=220 В. Указание: ответ справедлив при коротком замыкании фазы A. **349.** I_A=0; $I_B=I_C$=0,91 А; U=63,5 В. **350.** 9,6 кВА; 635 Вт; 9,5 квар. **351.** Увеличится в три раза. **352.** $z_{\Phi\Delta}=3z_{\Phi Y}$.

Глава V

358. а) 0,07 А; б) —0,07 А; в) 1,31%; г) 0,7%. Указание: поправка определяется как абсолютная погрешность, взятая с обратным знаком. **359.** 0,1 В; 0,52%. **360.** 0,1 А. **362.** 0,66%. **363.** 1,6%. Указание: поправочный коэффициент представляет собой отношение истинного значения измеряемой величины к ее измеренному значению. **364.** 2,4%. **365.** 4%. **367.** —0,5 В; 3,57%. **368.** $\frac{\Delta U_{m1}}{\Delta U_{m2}}=\frac{E}{E}$. **369.** 0,2 А; 5%. **370.** $\gamma_{доп1}>\gamma_{доп2}$. **371.** 51,5°. Указание: воспользоваться формулой для определения угла поворота: $\alpha=\frac{BSw}{M_{вр}-M_{пр}}$, где $M_{вр}$ и $M_{пр}$—вращающий и противодействующий моменты [II-в]. **372.** 1 дел/мА; 1 мА/дел. **376.** $\frac{c_{x1}}{c_{x2}}=\frac{s_{x2}}{s_{x1}}$=1,75. **377.** 10 дел/мкА; 0,25 мкВт. **378.** 0,535%; 0,8%; 1,6%; 8%. **379.** 100 дел; 2 мА/дел, 60 мА. **384.** 3,3 А. **385.** $5R_ш$. **386.** 1,11 Ом. **388.** 9; 99; 999. **389.** 25 мм. **390.** 2,5 А; 50 мА/дел. **392.** 80 мВ; 16 мВ. **394.** ≃1%. **395.** 1,095 кОм. **396.** 0,7 МОм. **397.** $\frac{1}{9}$; $\frac{1}{99}$; $\frac{1}{999}$. **398.** P_V=0,375 Вт; $P_{Rдоб}$=0,167 Вт. **399.** 555 В. **400.** 9,25 кОм. Указание: на одном из вольтметров напряжение должно быть номинальным $U_н$=150 В, на другом—разность между общим и номинальным напряжениями, т. е. 130 В. **403.** 6,35 В; 11 В. **404.** 12,55 кОм. **405.** 8 В; 4,8 А. Указание: нужно составить систему двух уравнений, соответствующих двум указанным режимам измерения. **406.** 2,33%. Указание: относительная погрешность в данном случае определяется из формулы: $\gamma_{I2}=\frac{\Delta I+\Delta I_1}{I-I_1}$. **407.** 1) 0,3 А; 2) 0,665 А. **408.** 286 пФ. Указание: величина дополнительной емкости для расширения пределов измерения с помощью вольтметра определяется по формуле: $C_{доб}=\frac{C_V}{U/U_н-1}$, где U—измеряемая величина напряжения; $U_н$—верхний предел измерения вольтметра. **409.** 300 В. См. указание к задаче 408. **410.** 814 В. См. указание к задаче 408. **411.** 600 В. **412.** 5 А. **413.** 50; 7500 В. **414.** 6%. **415.** Не более 7. **418.** 1 Ом; 0,2%. **419.** 25 Ом. **420.** 23 Ом. **421.** 101 Ом. **422.** а) $R_x\gg R_A$; б) $R_x\ll R_V$. **423.** а) $R_A\leqslant$0,133 Ом; б) $R_V\geqslant$22 кОм. **424.** а) 58,8 Ом; б) 60,3 Ом. **425.** 6,25%. **426.** 7,15%. **427.** 0,72%. См. указание к задаче 406. **429.** 40 Ом. **430.** 1 В. Указание: напряжение между точками C и D равно разности напряжений на сопротивлениях R_x и R_3 или разности напряжений

на сопротивлениях R_1 и R_2. **431.** 10,2 Ом. См. указание к задаче 430. **432.** 2,33 кОм. См. указание к задаче 430. **433.** 12 кОм. **434.** 125 Ом. **435.** 17,5 Ом. **436.** 3 мм². **437.** 1,6 МОм. **438.** $R_1 \simeq 19{,}3$ кОМ; $R_2 \simeq 45$ кОМ. Указание: сопротивления изоляции проводов определяются по формулам: $R_1 = R_V \frac{U - U_1 - U_2}{U_2}$; $R_2 = R_V \frac{U - U_1 - U_2}{U_1}$. **439.** 12 МОм. **445.** 98 Вт. **446.** 2,5 Вт/дел.; 5 Вт/дел; 10 Вт/дел; 0,4 дел/Вт; 0,2 дел/Вт; 0,1 дел/Вт. **447.** 5 Вт/дел. 10 Вт/дел; 20 Вт/дел; 0,2 дел/Вт; 0,1 дел/Вт, 0,05 дел/Вт. **448.** 1,095 кВт. **449.** 1,089 кВт. **450.** $\gamma_1 = 0{,}467\%$; $\gamma_2 = 1{,}011\%$. **451.** 6 мА. **452.** 5,8%. Указание: относительная погрешность измерения произведения нескольких величин равна сумме относительных погрешностей измерения каждой величины. **453.** 83 Вт. **454.** 180 Вт. **455.** 69,5 вар. **460.** 72 кВт. **461.** 10 Вт/дел. **462.** 50 Б; 2,5 А; 87,5 Вт. **463.** 6 кВт. **464.** 0,625. **465.** 24 кДж. **466.** 28 с. **467.** 750 вт. **468.** —200 Дж; 1,52%. **469.** 1,015. См. указание к задаче 363. **470.** 785,6 кВт·ч. **471.** 1980 Вт·с/об. Указание: число оборотов счетчика равно среднему арифметическому значению приведенных в условии значений оборотов. **473.** 60 мГ. **474.** $\simeq 0{,}845\ \Omega$. **475.** 16 мкФ. **476.** 80 мГ. **477.** 9,9%; —8,8 мГ. **478.** 1,43 мкФ. **480.** 13,4 Ом; 0,151 Г. Указание: нужно составить систему двух уравнений, соответствующих равновесию моста при обоих положениях переключателя. **481.** 145 Ом; 216 мГ. **482.** 44 мкФ. **483.** $R = 30$ Ом; $z = 4$ кОм; $L = 1{,}14$ Г. **484.** $R = 45$ Ом; $X_c = 21{,}8$ Ом; $z = 40$ Ом. **485.** 280 Ом; 22 мГ. Указание: нужно составить систему двух уравнений, соответствующих режимам измерения на обеих частотах. **486.** 1 град/Па; $1{,}75 \cdot 10^{-2}$ 1/Па. **489.** 25 мВ·мин/об, 4 об/мин. **490.** 4; 10; 14 В/Па. **491.** 2.5 В. **492.** 5. **493.** 9 кОм. **497.** $I_1 = 3{,}46$ мА; $I_2 = 2{,}5$ мА; $I_3 = 1{,}36$ мА; **498.** 62,5 мкА. **500.** $z = 10\sqrt{1 + 10l^2}$ [Ом] Указание: размерность l — мм. **501.** 90 мкФ. **502.** $t_1 \simeq 8$ с; $t_2 = 6$ с; $s_д \simeq \frac{2\ \text{мА} \cdot \text{с}}{\text{м}}$.

Глава VI

505. 17,8 В. **506.** 990. **507.** 37. **508.** 10; 0,2. **509.** 11; 2; 0,67; 0,2. **510.** 40. **511.** $1{,}8 \cdot 10^{-3}$ м². **513.** 12,3. **514.** 13,6. **516.** 4; 2, 1,3. **517.** $w_1 = 10\,000$, $w_2 = 125$. **518.** 100. **519.** 91%. **520.** 1,93 ВА; 35. **521.** 1,4 кВА. **522.** 1,23 кВт; 1,49 кВт; 1,71 кВт. **523.** 96%. **524.** 6,2 кВт. **525.** 5,3 А; 1,6 кВт; 49,5 Вт. **526.** 5 мм², 80%. **528.** 0,21. **529.** 0,128. **530.** Уменьшится на 0,32 А. **531.** Увеличится на 0,15. **532.** 92%; 1,78 кВт. **536.** 50. **537.** 7500. **538.** 150 В. **539.** 200 А. **540.** $w_1 = 4950$; $w_2 = 450$. **541.** ≈ 32 В; 0,3. **542.** 1,4 В. **545.** 22 В. **546.** 25; 49; 81 В. **547.** ≈ 980 В; 0,21. **548.** 23,4 мА. **550.** 98%. Указание: средний суточный к.п.д. определяется как отношение энергии, потребляемой в течение времени работы при номинальной нагрузке, к сумме этой энергии и энергии, потребляемой в течение времени холостой работы. **551.** 15 А. **552.** 0,26. **553.** $S_1 = 0{,}4$ мм², $S_2 = 20$ мм². **554.** 0,48. **555.** 25 А. **558.** $I_1 = 6{,}7$ А; $I_2 = 70$ А. **559.** 10%. **560.** 19,5%. **561.** От 16,1 до 20 В. **562.** 500 А; 0,5 А. **566.** $w_1 = 33000$, $w_2 = 330$. **567.** $I_{г1} = 8{,}33$ А; $I_{н2} = 250$ А; $w_1 = 2100$; $w_2 = 70$. **568.** а) $k_{тл} = 20$; $U_{2л} = 150$ В; б) $k_{тл} = 34{,}7$; $U_{2л} = 89$ В; в) $k_{тл} = 34$; $U_{2л} = 86{,}5$ В;

г) $k_{т1}=20$; $U_{2л}=150$ В. **569.** Y/Y. **570.** Y/Δ. **571.** $\omega_{\Delta}=\sqrt{3}\omega_{Y}$. **573.** 95%; 94,8%; 95,1%. **574.** 83,5%; 1,68 кВт. **575.** 15,3%. **580.** От 99,5 до 100,5. **582.** 1,1. Указание: нужно записать уравнение, определяющее второе условие параллельного включения трансформаторов, выразив отношение $\frac{u_{к1}}{u_{кII}}$ в виде неизвестной величины: $\frac{x-1}{x+1}\leqslant\pm 0{,}05$. **583.** См. Указание к задаче 582. **584.** $P_{2.I}=1{,}4\,P_{2.II}$. **585.** $P_{2.I}=39$ кВт; $P_{2.II}=33$ кВт. **586.** 3,8 кВА. **589.** 2,2; 22; 110 В. **590.** $I_2=20$ А; $I_9=10$ А. **591.** На 5 мм². **592.** 28 А. **593.** $\omega_1=1080$; $\omega_2=720$. **596.** $I_1=62$ мА; $I_2=132$ мА; $I_3=90$ мА. **597.** 0,14 ÷ 0,16 А. **598.** $\omega_1=2\omega_2$. **600.** $S_3=0{,}8$ кВА; $S_{эм}=0{,}2$ кВА· $k_т=1{,}25$.

Глава VII

602. 6,6%. **603.** 1500 об/мин. **604.** 3000 об/мин, 60%. См. указание к задаче 36. **606.** 5. **607.** 314 рад/с. **608.** 33 Гц. См. указание к задаче 36. **609.** 305 рад/с. **610.** 1800 об/мин. **611.** 1425÷1450 об/мин. **612.** $E_1=285$ В; $E_2=250$ В; $E_{2S}=5{,}5$ В. **613.** 100. **614.** 9 В. **615.** 173. **616.** 5 Ом. **617.** 3,6 Ом. **618.** 0,0385 Ом. **619.** 11 В; 48 Гц. 620. 20 В. **621.** 9,5 А. **622.** 10,5 А. **623.** 20; 4; 2 Н·м. **625.** 1,15 Н·м. **627.** 1,35 Н·м. **632.** 84%. **633.** 83,5%; 0,865. **634.** 110 Вт. **636.** 81,5%; 2,7 кВт. **638.** $s=25\%$; $\eta=97{,}5\%$. **640.** 8 кВт; 17,5 А; 30,3 А. **641.** 3,75%; 39 Н·м. **664.** 750 об/мин. **665.** 6. **666.** 400 раз. **667.** 950 об/мин. **669.** $e=112\sin(628t+60°)$ [В]. **671.** 16 В. **672.** 16. **673.** а) 0 б) $P_{эм}$. **674.** 750 Вт. **675.** 990 Вт; 90 Вт. **676.** $I_{кД}=73$ А; $I_{кY}=42$ А. **677.** В 1,6 раза. **678.** 6,45 А. **679.** 196; 39,2; 16,3 Н·м. **680.** 95,5%. **681.** 5 кВт. **682.** 92,5%, 6,02 кВт. См. указание к задаче 36. **683.** 1,96; 0,98; 0,163 Н·м; 10 000; 50 000; 120 000 рад/с.

Глава VIII

692. 200 В. **693.** 99; 132; 175 В. **694.** 12. **695.** 750 об/мин. **696.** 100 В. См. указание к задаче 36. **698.** 6,4 А; 77 В. **699.** 420 об/мин. **700.** 440 об/мин. **701.** 5 А. **702.** 185 А. **703.** 240 В. **706.** 7 Ом. **707.** 0,5 Ом. **710.** 185, 170, 125 В; $\frac{R_п}{R_я}=\frac{10}{9}$; 2; 5. **711.** От 10 до 50 Ом. **712.** 20,5 А. См. указание к задаче 36. **713.** 156 В. **714.** 198 В. **715.** 180 В. **716.** 10,8 кВт. **717.** 34 А. **719.** 7,5 кВт. **720.** 1,03 Ом. **733.** 162 В. **734.** 8. **735.** 120 В. См. указание к задаче 36. **736.** 60 Ом. **737.** 5,5 кВт. **738.** 6,1 кВт. **739.** 78%. **740.** 500 Вт. **744.** $R_я=0{,}08$ Ом; $R_п=0{,}3$ Ом. **745.** 1 Ом. **746.** 5 Ом. **747.** 300 А.

Глава IX

759. 0,127. 0,555; 2,55 мА/мм². Указание: использовать приложения № 6,7. **761.** 0,182 $A/\text{град}^2\cdot\text{м}^2$; 1304,6 К. Указание: нужно составить систему двух уравнений, соответствующих зависимостям плотности тока эмиссии от заданных температур. **764.** 1) 2 мА/В; 2) 2 мА/В. **765.** 24 Ом. **767.** Уменьшилась в два раза. **769.** $Q_a=5$ Дж;

$Q_к = 3{,}6$ Дж. **770.** 220 мА. **771.** 9 кОм. **772.** 0,95 кОм. **774.** 1) 20; 2) 5; 3) 2. **776.** $k_п = 20$; $R_i = 50$ Ом. **777.** 100. **778.** 2 МОм. **781.** 100. **782.** 5; 2; 1 В. **790.** 29 мВ. **791.** 6 В. **792.** 100 В. **793.** 141 В. **797.** а) увеличится на 0,9 В; б) изменится на 40 мА. **798.** 20 Ом. **801.** 20 В. **803.** 2,5 Вт; 33,3%. **804.** 3 мА. Указание: составить в координатах $I_б$, $U_э$ уравнение прямой, проходящей через точки, координаты которых заданы в условии. **805.** 20 мА. См. указание к задаче 36. **806.** 150 В. **807.** 1 кОм. **808.** 2,33 В. См. указание к задаче 804. **809.** 20 А. **815.** 573 Ом. См. указание к задаче 759. **816.** 312 К; 293 К. **817.** 560 К. **818.** 80 мкА. **823.** 115 В. **825.** 0,5 кОм. **826.** 370 К. См. указание к задаче 759. **827.** 3830 К. **828.** 0,366 мА. **832.** 0,5; 0,33; 0,25 мА. **835.** (0. **836.** 0,9. **837.** 1 кОм. **838.** 1 мА. **839.** 313 К. **840.** 0,98; 4. **842.** $I_к = 565$ мА; $I_э = 0{,}57$ мА; $I_б = 8{,}8$ мкА. **843.** $I_б = 6{,}2$ мкА; $I_к = 10{,}25$ мА. См. указание к задаче 36. **844.** 0,97; 10 мА. Указание: составить систему двух уравнений, соответствующих заданным значениям коллекторного тока. **851.** 2; 7; 15 мкА/лм. **852.** 10 лм. **853.** 10^{-3} А/мм²; $2\,10^{-3}$ А/мм². См. указание к задаче 36. **856.** 1 лм. **858.** 1 В. **860.** 1) 20 мА; 2) 6,7 мА. **861.** Уменьшилась в 5 раз. **864.** 80 мкА. **865.** 0,25 лм. **866.** $k = 1$. **870.** 150 лм. См. указание к задаче 804. **871.** Уменьшится в 10 раз. **872.** 16,7 лм. **873.** 120 лм; 166 Ом. См. указание к задаче 36. **874.** 25 мА/лм. **875.** 63,5 мА. **879.** 0,455 мА/лм. **882.** 74,5%. **883.** $\eta = 42{,}7\%$. Увеличится на 19,6%. **884.** 10; 1 кОм. **885.** $k_{по} = 1{,}25$; увеличится в 2 раза. **889.** 222 В; 78,8 мА. **890.** а) 1 В; 55,5 мА; б) 110 В; 39,5 мА. **892.** 74 В; 52,7 мА. **895.** 32 В; 32 мА; 32 В; 64 мА; 64 В, 64 мА; 95 В; 86 мА. **900.** 0,366 Г. **901.** 16 мкФ. **902.** 9,4. **903.** 40. **904.** 200 Ом. **906.** 0,14 мА. **908.** 455 Ом. **911.** а) 4; б) 5. **914.** 0,267%. **917.** а) $I_{вых} < 10$ мкА; б) $U_{вх} \leqslant 50$ В. **919.** $k_I = 10$; $k_U = 25$; $k_P = 250$. **920.** 3,16; 10; 100. **921.** 12—41%. **922.** 0,3 6%. **923.** 83,5%. **924.** 80%. **925.** 700 Ом. **926.** 0,051. **927.** 0,025. См. указание к задаче 102. **934.** 625. **935.** $k_I = 2$; $k_U = 20$; $k_З = 200$. **936.** 0,5 А. **937.** 0,025. **938.** $\simeq 1/k_{о.с}$. **939.** 0,067. **940.** 2,33. **945.** 1,6 кГц. **946.** 0,254 мГ. **947.** 10. **948.** 0,16 Г; 6,4 нФ. **949.** 8. **950.** 0,785; 1,57; 3,84 кГц. **951.** 9,6 кГц. **960.** $\tau_и = 0{,}91$ мкс; $t_п = 9{,}1$ мкс; $\frac{T}{\tau_и} = 11$; 2; 1,1. **961.** 2; от 1 до ∞. **966.** $u = (A_0 + A_m \sin 314t)$ sin 6280t. **967.** Увеличится в 3 раза. **971.** 20. **972.** 53. **973.** 1 мА. **976.** 23 В. **977.** 30 В. **978.** 4150 К; 0,039 Ом. См. указание к задаче 759. **981.** 0,1 мА/лм. **982.** 10 лм. **987.** 25. **988.** $t_{раб} \simeq 3280$ ч. $> t_{гар}$. **991.** 1023.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

Таблица электрических и механических величин и единиц их измерения в единой Международной системе единиц СИ

Наименование величин	Основные единицы в Международной системе единиц (СИ)		
	Название	Размерность	Обозначение
1	2	3	4
Длина	метр	м	l
Площадь, поверхность	кв. метр	$м^2$	S
Объем	куб. метр	$м^3$	V
Масса	килограмм	кг	m
Время	секунда	с	t
Скорость	метр в секунду	м/с	v
Сила	ньютон	Н	F
Работа	джоуль (ватт-секунда)	Дж	W
Количество тепла	джоуль	Дж	Q
Температура	кельвин	К	T
Угловая скорость, угловая частота	радиан на секунду	рад/с	ω
Плоский угол	радиан	рад	α, ψ, φ
Момент силы	ньютон-метр (джоуль)	Н·м	M
Мощность активная	ватт	Вт	P
Мощность реактивная	вольт-ампер реактивный	вар	Q
Полная мощность	вольт-ампер	В·А	S
Напряжение, электродвижущая сила	вольт	В	U, E
Ток	ампер	А	I
Плотность тока	ампер на кв. метр	$А/м^2$	j
Заряд, количество электричества	кулон	Кл	q
Напряженность электрического поля	вольт на метр	В/м	$E_п$
Емкость	фарада	Ф	C
Абсолютная диэлектрическая проницаемость	фарада на метр	Ф/м	ε_a
Сопротивление	ом	Ом	R
Удельное сопротивление	ом-метр	Ом·м	ρ

1	2	3	4
Проводимость	сименс	См	g
Удельная проводимость	сименс на метр	См/м	γ, g
Магнитный поток	вебер	Вб	Φ
Магнитная индукция	тесла (вебер на квадратный метр)	Т	B
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	А/м	H
Абсолютная магнитная проницаемость	генри на метр	Г/м	μ_a
Индуктивность	генри	Г	L
Реактивное (индуктивное, емкостное) сопротивление	ом	Ом	X
Полное сопротивление	ом	Ом	z
Частота	герц	Гц	f

Приложение 2

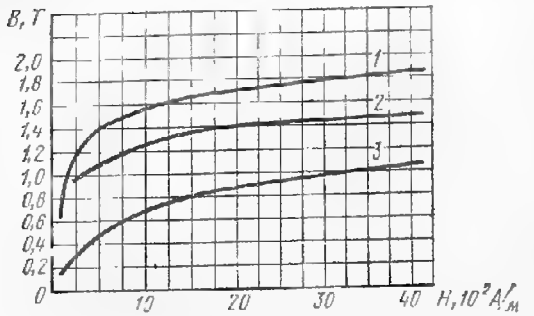
Диэлектрические проницаемости (относительные)

Диэлектрик	ε	Диэлектрик	ε
Вода	81	Слюда	7,5
Воздух	1,00058	Спирт	26
Керосин	2,0	Стекло	6,0
Парафин	2,0	Фарфор	6,0
Плексиглас	3,5	Эбонит	2,7
Полиэтилен	2,3		

Основные характеристики проводниковых материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м³	Удельное сопротивление, 10^{-6} Ом·м	Удельная проводимость, 10^6 См/м	Теплоемкость от 0 до 100° С, Дж/кг·°С	Температурный коэффициент сопротивления от 0 до 100° С, 1/°С
Медь проводниковая	8900	0,0176	57	0,392	0,004
Алюминий	2700	0,0278	35	0,92	0,004
Латунь	8500	0,04	25	0,384	0,002
Вольфрам	19 100	0,0612	16,34	0,146	0,0047
Стальная проволока	7900	0,13	7,6	0,46	0,00625
Олово	7300	0,143	7	0,234	0,0044
Свинец	11 400	0,221	4,52	0,129	0,0041
Нихром	8200	0,98	1,02	—	0,00013
Константан	8800	0,4—0,51	2,5—1,98	—	0,000005
Фехраль	7600	1,4	0,7	—	0,00028
Манганин	8100	0,42	2,38	—	0,000006

Кривые намагничивания некоторых материалов



1 — электротехническая сталь, *2* — литая сталь, *3* — чугун

Основные параметры выпрямительных схем

Параметры схем	Схемы выпрямления			
	однополупериодная (рис. 101, *а*)	однофазная двухполупериодная: со средней точкой (рис. 101, *б*)	однофазная двухполупериодная: мостовая (рис. 101, *в*)	трехфазная двухполупериодная (рис. 101, *г*)
Постоянная составляющая выпрямленного напряжения (нулевая гармоника) $U_{ов}$	$0{,}45\ U_{вх}$[1]	$0{,}9\ U_{вх}$	$0{,}9\ U_{вх}$	$1{,}35\ U_{вх}$
Постоянная составляющая выпрямленного тока (нулевая гармоника) $I_{ов}$	$0{,}637\ I_{вх}$[1]	$1{,}27\ I_{вх}$	$0{,}9\ I_{вх}$	$0{,}95\ I_{вх}$
Ток выпрямителя в проводящем направлении $I_в$	$1{,}57\ I_{ов}$	$0{,}78\ I_{ов}$	$0{,}78\ I_{ов}$	$0{,}58\ I_{ов}$
Коэффициент пульсаций $k_{по}$	1,57	0,78	0,78	0,26
Напряжение на выпрямителе в обратном направлении $U_{обр}$	$3{,}14\ U_{ов}$	$3{,}14\ U_{ов}$	$1{,}57\ U_{ов}$	$1{,}05\ U_{ов}$
Частота пульсаций $f_п$	$f_с^2$[2]	$2f_с$	$2f_с$	$3f_с$

[1] $U_{вх}$ и $I_{вх}$ — действующие значения входных напряжений и тока.
[2] $f_с$ — частота напряжения питающей сети.

Показательные функции

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
00,0	1,0000	1,0000	0,40	1,4918	0,6703	0,80	2,2255	0,4493
01	1,0101	0,9900	41	1,5068	0,6637	81	2,2479	0,4449
02	1,0202	0,9802	42	1,5220	0,6570	82	2,2705	0,4404
03	1,0305	0,9704	43	1,5373	0,6505	83	2,2933	0,4360
04	1,0408	0,9608	44	1,5527	0,6440	84	2,3164	0,4317
0,05	1,0513	0,9512	0,45	1,5683	0,6376	0,85	2,3396	0,4274
06	1,0618	0,9418	46	1,5841	0,6313	86	2,3632	0,4232
07	1,0725	0,9324	47	1,6000	0,6250	87	2,3869	0,4190
08	1,0833	0,9231	48	1,6161	0,6188	88	2,4109	0,4148
09	1,0942	0,9139	49	1,6323	0,6126	89	2,4351	0,4107
0,10	1,1052	0,9048	0,50	1,6487	0,6065	0,90	2,4596	0,4066
11	1,1163	0,8958	51	1,6653	0,6005	91	2,4843	0,4025
12	1,1275	0,8869	52	1,6820	0,5945	92	2,5093	0,3985
13	1,1388	0,8781	53	1,6989	0,5886	93	2,5345	0,3946
14	1,1503	0,8694	54	1,7160	0,5827	94	2,5600	0,3906
0,15	1,1618	0,8607	0,55	1,7333	0,5769	0,95	2,5857	0,3867
16	1,1735	0,8521	56	1,7507	0,5712	96	2,6117	0,3829
17	1,1853	0,8437	57	1,7683	0,5655	97	2,6379	0,3791
18	1,1972	0,8353	58	1,7860	0,5599	98	2,6645	0,3753
19	1,2092	0,8270	59	1,8040	0,5543	99	2,6912	0,3716
0,20	1,2214	0,8187	0,60	1,8221	0,5488	1,00	2,7183	0,3679
21	1,2337	0,8106	61	1,8404	0,5434	01	2,7456	0,3642
22	1,2461	0,8025	62	1,8589	0,5379	02	2,7732	0,3606
23	1,2586	0,7945	63	1,8776	0,5326	03	2,8011	0,3570
24	1,2721	0,7866	64	1,8963	0,5273	04	2,8292	0,3535
0,25	1,2840	0,7788	0,65	1,9155	0,5220	1,05	2,8577	0,3499
26	1,2969	0,7711	66	1,9348	0,5169	06	2,8864	0,3465
27	1,3100	0,7634	67	1,9542	0,5117	07	2,9154	0,3430
28	1,3231	0,7558	68	1,9739	0,5066	08	2,9447	0,3396
29	1,3364	0,7483	69	1,9937	0,5016	09	2,9743	0,3362
0,30	1,3499	0,7408	0,70	2,0138	0,4966	1,10	3,0042	0,3329
31	1,3634	0,7334	71	2,0340	0,4916	11	3,0344	0,3296
32	1,3771	0,7261	72	2,0544	0,4868	12	3,0649	0,3263
33	1,3910	0,7189	73	2,0751	0,4819	13	3,0957	0,3230
34	1,4049	0,7118	74	2,0959	0,4771	14	3,1268	0,3198
0,35	1,4191	0,7047	0,75	2,1170	0,4724	1,15	3,1582	0,3166
36	1,4333	0,6977	76	2,1383	0,4677	16	3,1899	0,3135
37	1,4477	0,6907	77	2,1598	0,4630	17	3,2220	0,3104
38	1,4623	0,6839	78	2,1815	0,4584	18	3,2544	0,3073
39	1,4770	0,6771	79	2,2034	0,4538	19	3,2871	0,3042

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
1,20	3,3201	0,3012	1,60	4,9530	0,2019	2,00	7,3891	0,1353
21	3,3535	0,2982	1,61	5,0028	0,1999	2,01	7,4633	0,1340
22	3,3872	0,2952	1,62	5,0531	0,1979	2,02	7,5383	0,1327
23	3,4212	0,2923	1,63	5,1039	0,1959	2,03	7,6141	0,1313
24	3,4556	0,2892	1,64	5,1552	0,1940	2,04	7,6906	0,1300
1,25	3,4903	0,2865	1,65	5,2070	0,1920	2,05	7,7679	0,1287
26	3,5254	0,2837	1,66	5,2593	0,1901	2,06	7,8460	0,1275
27	3,5609	0,2808	1,67	5,3122	0,1882	2,07	7,9248	0,1262
28	3,5966	0,2780	1,68	5,3656	0,1864	2,08	8,0015	0,1249
29	3,6328	0,2753	1,69	5,4195	0,1845	2,09	8,0849	0,1237
1,30	3,6693	0,2725	1,70	5,4739	0,1827	2,10	8,1662	0,1225
31	3,7062	0,2698	1,71	5,5290	0,1809	2,11	8,2482	0,1212
32	3,7434	0,2671	1,72	5,5845	0,1791	2,12	8,3311	0,1200
33	3,7810	0,2645	1,73	5,6407	0,1773	2,13	8,4149	0,1188
34	3,8190	0,2618	1,74	5,6973	0,1755	2,14	8,4994	0,1177
1,35	3,8574	0,2592	1,75	5,7546	0,1738	2,15	8,5849	0,1165
36	3,8962	0,2567	1,76	5,8124	0,1720	2,16	8,6711	0,1153
37	3,9354	0,2541	1,77	5,8709	0,1703	2,17	8,7583	0,1142
38	3,9749	0,2516	1,78	5,9299	0,1686	2,18	8,8463	0,1130
39	4,0149	0,2491	1,79	5,9895	0,1670	2,19	8,9352	0,1119
1,40	4,0552	0,2466	1,80	6,0496	0,1653	2,20	9,0250	0,1108
41	4,0960	0,2441	1,81	6,1104	0,1637	2,21	9,1157	0,1097
42	4,1371	0,2417	1,82	6,1719	0,1620	2,22	9,2073	0,1086
43	4,1787	0,2393	1,83	6,2339	0,1604	2,23	9,2999	0,1075
44	4,2207	0,2369	1,84	6,2965	0,1588	2,24	9,3933	0,1065
1,45	4,2631	0,2346	1,85	6,3598	0,1572	2,25	9,4877	0,1054
46	4,3060	0,2322	1,86	6,4237	0,1557	2,26	9,5831	0,1044
47	4,3492	0,2299	1,87	6,4883	0,1541	2,27	9,6794	0,1033
48	4,3929	0,2276	1,88	6,5535	0,1526	2,28	9,7767	0,1023
49	4,4371	0,2254	1,89	6,6194	0,1511	2,29	9,8749	0,1013
1,50	4,4817	0,2231	1,90	6,6859	0,1496	2,30	9,9742	0,10026
51	4,5267	0,2209	1,91	6,7531	0,1481	2,31	10,074	0,09926
52	4,5722	0,2187	1,92	6,8210	0,1466	2,32	10,176	0,09827
53	4,6182	0,2165	1,93	6,8895	0,1451	2,33	10,278	0,09730
54	4,6646	0,2144	1,94	6,9588	0,1437	2,34	10,381	0,09633
1,55	4,7115	0,2122	1,95	7,0287	0,1423	2,35	10,486	0,09537
56	4,7583	0,2101	1,96	7,0993	0,1409	2,36	10,591	0,09442
57	4,8066	0,2080	1,97	7,1707	0,1395	2,37	10,697	0,09348
58	4,8550	0,2060	1,98	7,2427	0,1381	2,38	10,805	0,09255
59	4,9037	0,2039	1,99	7,3155	0,1367	2,39	10,913	0,09163

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
2,40	11,023	0,09072	2,80	16,445	0,06081	3,20	24,533	0,04076
2,41	11,134	0,03982	2,81	16,610	0,06020	3,21	24,779	0,04036
2,42	11,246	0,08892	2,82	16,777	0,05961	3,22	25,028	0,03996
2,43	11,359	0,08804	2,83	16,945	0,05901	3,23	25,280	0,03956
2,44	11,473	0,08716	2,84	17,116	0,05843	3,24	25,534	0,03916
2,45	11,588	0,08629	2,85	17,288	0,05784	3,25	25,790	0,03877
2,46	11,705	0,08543	2,86	17,462	0,05727	3,26	26,050	0,03839
2,47	11,822	0,08458	2,87	17,637	0,05670	3,27	26,311	0,03801
2,48	11,941	0,08374	2,88	17,814	0,05613	3,28	26,575	0,03763
2,49	12,061	0,08291	2,89	17,993	0,05558	3,29	26,843	0,03725
2,50	12,182	0,08208	2,90	18,174	0,05502	3,30	27,113	0,03688
2,51	12,305	0,08127	2,91	18,357	0,05448	3,31	27,385	0,03652
2,52	12,429	0,08046	2,92	18,541	0,05393	3,32	27,660	0,03615
2,53	12,554	0,07966	2,93	18,728	0,05340	3,33	27,938	0,03579
2,54	12,680	0,07887	2,94	18,916	0,05287	3,34	28,219	0,03542
2,55	12,807	0,07808	2,95	19,106	0,05231	3,35	28,503	0,03508
2,56	12,936	0,07730	2,96	19,298	0,05182	3,36	28,789	0,03474
2,57	13,066	0,07654	2,97	19,492	0,05130	3,37	29,079	0,03439
2,58	13,197	0,07577	2,98	19,688	0,05079	3,38	29,371	0,03405
2,59	13,330	0,07502	2,99	19,886	0,05029	3,39	29,665	0,03371
2,60	13,464	0,07427	3,00	20,086	0,04979	3,40	29,964	0,03337
2,61	13,599	0,07353	3,01	20,287	0,04929	3,41	30,265	0,03304
2,62	13,736	0,07280	3,02	20,491	0,04880	3,42	30,569	0,03271
2,63	13,874	0,07208	3,03	20,697	0,04832	3,43	30,877	0,03239
2,64	14,013	0,07136	3,04	20,905	0,04783	3,44	31,187	0,03207
2,65	14,154	0,07065	3,05	21,115	0,04736	3,45	31,500	0,03175
2,66	14,296	0,06995	3,06	21,328	0,04689	3,46	31,817	0,03143
2,67	14,440	0,06925	3,07	21,542	0,04642	3,47	32,137	0,03112
2,68	14,585	0,06856	3,08	21,758	0,04596	3,48	32,460	0,03081
2,69	14,732	0,06788	3,09	21,977	0,04550	3,49	32,786	0,03050
2,70	14,880	0,06721	3,10	22,198	0,04505	3,50	33,115	0,03020
2,71	15,029	0,06654	3,11	22,421	0,04460	3,51	33,448	0,02990
2,72	15,180	0,06587	3,12	22,646	0,04416	3,52	33,784	0,02960
2,73	15,333	0,06522	3,13	22,874	0,04372	3,53	34,121	0,02930
2,74	15,487	0,06457	3,14	23,104	0,04328	3,54	34,467	0,02901
2,75	15,643	0,06393	3,15	23,336	0,04285	3,55	34,813	0,02872
2,76	15,800	0,06329	3,16	23,571	0,04243	3,56	35,163	0,02844
2,77	15,959	0,06266	3,17	23,807	0,04200	3,57	35,517	0,02816
2,78	15,119	0,06204	3,18	24,047	0,04159	3,58	35,874	0,02788
2,79	16,281	0,06142	3,19	24,288	0,04117	3,59	36,234	0,02760

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
3,60	36,598	0,02732	3,95	51,935	0,01925	7,0	1096,6	0,000912
3,61	36,966	0,02705	3,96	52,457	0,01906	7,1	1212,0	0,000825
3,62	37,338	0,02678	3,97	52,985	0,01887	7,2	1339,4	0,000747
3,63	37,713	0,02652	3,98	53,517	0,01869	7,3	1480,3	0,000676
3,64	38,092	0,02625	3,99	54,055	0,01850	7,4	1636,0	0,000611
3,65	38,475	0,02599	4 0	54,598	0,01832	7,5	1808,0	0,000535
3,66	38,861	0,02573	4,1	60,340	0,01657	7,6	1998,2	0,000500
3,67	39,252	0,02548	4,2	66,686	0,01500	7,7	2208,3	0,000453
3,68	39,646	0,02522	4,3	73,700	0,01357	7,8	2440,6	0,000410
3,69	40,045	0,02497	4,4	81,451	9,01228	7,9	2697,3	0,000371
3,70	40,447	0,02472	4,5	90,017	0,01111	8,0	2981,0	0,000335
3,71	40,854	0,02448	4,6	99,484	0,01005	8,1	3294,5	0,000304
3,72	41,264	0,02123	4,7	109,95	0,00910	8,2	3641,0	0,000275
3,73	41,679	0,02399	4,8	121,51	00,0823	8,3	4023,9	0,000249
3,74	42,098	0,02375	4,9	134,29	0,00745	8,4	4447,1	0,000225
3,75	42,521	0,02352	5,0	148,41	0,00674	8,5	4914,8	0,000203
3,76	42,948	0,02328	5,1	164,02	0,00610	8,6	5431,7	0,000184
3,77	43,380	0,02305	5,2	181,27	0,00552	8,7	6002,9	0,000167
3,78	43,816	0,02282	5,3	200,34	0,00499	8,8	6634,2	0,000151
3,79	44,255	0,02260	5,4	221,41	0,00452	8,9	7332,0	0,000136
3,80	44,701	0,02237	5,5	244,69	0,00409	9,0	8103,1	0,000123
3,81	45,150	0,02215	5,6	270,43	0,00370	9,1	8955,3	0,000112
3,82	45,604	0,02193	5,7	298,87	0,00335	9,2	9897,1	0,000101
3,83	46,063	0,02171	5 8	330,30	0,00303	9,3	10938	0,000091
3,84	46,525	0,02149	5,9	365,04	0,00274	9,4	12088	0,000083
3,85	46,993	0,02128	6,0	403,43	0,002479	9,5	13360	0,000075
3,86	47,465	0,02107	6,1	445,86	0,002243	9,6	14765	0,000068
3,87	47,942	0,02086	6,2	492,75	0,002029	9,7	16318	0,000061
3,88	48,424	0,02065	6,3	544,57	0,001836	9,8	18034	0,000055
3,89	48,911	0,02045	6,4	601,85	0,001662	9,9	19930	0,000050
3,90	49,402	0,02024	6,5	665,14	0,001503	10,0	22026	0,000045
3,91	49,899	0,02004	6,6	735,10	0,001360			
3,92	50,400	0,01984	6,7	812,41	0,001231			
3,93	50,907	0,01964	6,8	897,85	0,001114			
3,94	50,419	0,01945	6,9	992,27	0,001008			

Натуральные логарифмы

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,0	0,0000	0,0100	0,0198	0,0296	0,0392	0,0488	0,0583	0,0677	0,0770	0,0862
1,1	0,0953	0,1044	0,1133	0,1222	0,1310	0,1398	0,1484	0,1570	0,1655	0,1740
1,2	0,1823	0,1906	0,1989	0,2070	0,2151	0,2231	0,2311	0,2390	0,2469	0,2546
1,3	0,2624	0,2700	0,2776	0,2852	0,2927	0,3001	0,3075	0,3148	0,3221	0,3293
1,4	0,3365	0,3436	0,3507	0,3577	0,3646	0,3716	0,3784	0,3853	0,3920	0,3988
1,5	0,4055	0,4121	0,4187	0,4253	0,4318	0,4383	0,4447	0,4511	0,4574	0,4637
1,6	0,4700	0,4762	0,4824	0,4886	0,4947	0,5008	0,5068	0,5128	0,5188	0,5247
1,7	0,5306	0,5365	0,5423	0,5481	0,5539	0,5596	0,5653	0,5710	0,5766	0,5822
1,8	0,5878	0,5933	0,5988	0,6043	0,6098	0,6152	0,6206	0,6259	0,6313	0,6366
1,9	0,6419	0,6471	0,6523	0,6575	0,6627	0,6678	0,6729	0,6780	0,6831	0,6881
2,0	0,6931	0,6981	0,7031	0,7080	0,7129	0,7178	0,7227	0,7275	0,7324	0,7372
2,1	0,7419	0,7467	0,7514	0,7561	0,7608	0,7655	0,7701	0,7747	0,7793	0,7839
2,2	0,7885	0,7930	0,7975	0,8020	0,8065	0,8109	0,8154	0,8198	0,8242	0,8286
2,3	0,8329	0,8372	0,8416	0,8459	0,8502	0,8544	0,8587	0,8629	0,8671	0,8713
2,4	0,8755	0,8796	0,8838	0,8879	0,8920	0,8961	0,9002	0,9042	0,9083	0,9123
2,5	0,9163	0,9203	0,9243	0,9282	0,9322	0,9361	0,9400	0,9439	0,9478	0,9517
2,6	0,9555	0,9594	0,9632	0,9670	0,9708	0,9746	0,9783	0,9821	0,9858	0,9895
2,7	0,9933	0,9969	1,0006	1,0043	1,0080	1,0116	1,0152	1,0188	1,0225	1,0260
2,8	1,0296	1,0332	1,0367	1,0403	1,0438	1,0473	1,0508	1,0543	1,0578	1,0613
2,9	1,0647	1,0682	1,0716	1,0750	1,0784	1,0818	1,0852	1,0886	1,0919	1,0953

Продолжение прилож. 7

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,0	1,0986	1,1019	1,1053	1,1086	1,1119	1,1151	1,1184	1,1217	1,1249	0,1282
3,1	1,1314	1,1346	1,1378	1,1410	1,1442	1,1474	1,1506	1,1537	1,1569	0,1600
3,2	1,1632	1,1663	1,1694	1,1725	1,1756	1,1787	1,1817	1,1848	1,1878	1,1909
3,3	1,1939	1,1969	1,2000	1,2030	1,2060	1,2090	1,2119	1,2149	1,2179	1,2208
3,4	1,2238	1,2267	1,2296	1,2326	1,2355	1,2384	1,2413	1,2442	1,2470	1,2499
3,5	1,2528	1,2556	1,2585	1,2613	1,2641	1,2669	1,2698	1,2726	1,2754	1,2782
3,6	1,2809	1,2837	1,2865	1,2892	1,2920	1,2947	1,2975	1,3002	1,3029	1,3056
3,7	1,3083	1,3110	1,3137	1,3164	1,3191	1,3218	1,3244	1,3271	1,3297	1,3324
3,8	1,3350	1,3376	1,3403	1,3429	1,3455	1,3481	1,3507	1,3533	1,3558	1,3584
3,9	1,3610	1,3635	1,3661	1,3686	1,3712	1,3737	1,3762	1,3788	1,3813	1,3838
4,0	1,3863	1,3888	1,3913	1,3938	1,3962	1,3987	1,4012	1,4036	1,4061	1,4085
4,1	1,4110	1,4134	1,4159	1,4183	1,4207	1,4231	1,4255	1,4279	1,4303	1,4327
4,2	1,4351	1,4375	1,4398	1,4422	1,4446	1,4469	1,4493	1,4516	1,4540	1,4563
4,3	1,4586	1,4609	1,4633	1,4656	1,4679	1,4702	1,4725	1,4748	1,4770	1,4793
4,4	1,4816	1,4839	1,4861	1,4884	1,4907	1,4929	1,4951	1,4974	1,4996	1,5019
4,5	1,5041	1,5063	1,5085	1,5107	1,5129	1,5151	1,5173	1,5195	1,5217	1,5239
4,6	1,5261	1,5282	1,5304	1,5326	1,5347	1,5369	1,5390	1,5412	1,5433	1,5454
4,7	1,5476	1,5497	1,5518	1,5539	1,5560	1,5581	1,5602	1,5623	1,5644	1,5665
4,8	1,5686	1,5707	1,5728	1,5748	1,5769	1,5790	1,5810	1,5831	1,5851	1,5872
4,9	1,5892	1,5913	1,5933	1,5953	1,5974	1,5994	1,6014	1,6034	1,6054	1,6074

Продолжение прилож. 7

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5,0	1,6094	1,6114	1,6134	1,6154	1,6174	1,6194	1,6214	1,6233	1,6253	1,6273
5,1	1,6292	1,6312	1,6332	1,6351	1,6371	1,6390	1,6409	1,6429	1,6448	1,6467
5,2	1,6487	1,6506	1,6525	1,6544	1,6563	1,6582	1,6601	1,6620	1,6639	1,6658
5,3	1,6677	1,6696	1,6715	1,6734	1,6752	1,6771	1,6790	1,6808	1,6827	1,6845
5,4	1,6864	1,6882	1,6901	1,6919	1,6938	1,6956	1,6974	1,6993	1,7011	1,7029
5,5	1,7047	1,7066	1,7084	1,7102	1,7120	1,7138	1,7156	1,7174	1,7192	1,7210
5,6	1,7228	1,7246	1,7263	1,7281	1,7299	1,7317	1,7334	1,7352	1,7370	1,7387
5,7	1,7405	1,7422	1,7440	1,7457	1,7475	1,7492	1,7509	1,7527	1,7544	1,7561
5,8	1,7579	1,7596	1,7613	1,7630	1,7647	1,7664	1,7681	1,7699	1,7716	1,7733
5,9	1,7750	1,7776	1,7783	1,7800	1,7817	1,7834	1,7851	1,7867	1,7884	1,7901
6,0	1,7918	1,7934	1,7951	1,7967	1,7984	1,8001	1,8017	1,8034	1,8050	1,8066
6,1	1,8083	1,8099	1,8116	1,8132	1,8148	1,8165	1,8181	1,8197	1,8213	1,8229
6,2	1,8245	1,8262	1,8278	1,8294	1,8310	1,8326	1,8342	1,8358	1,8374	1,8390
6,3	1,8405	1,8421	1,8437	1,8453	1,8469	1,8485	1,8500	1,8516	1,8532	1,8547
6,4	1,8563	1,8579	1,8594	1,8610	1,8625	1,8641	1,8656	1,8672	1,8687	1,8703
6,5	1,8718	1,8733	1,8749	1,8764	1,8779	1,8795	1,8810	1,8825	1,8840	1,8856
6,6	1,8871	1,8886	1,8901	1,8916	1,8931	1,8946	1,8961	1,8976	1,8991	1,9006
6,7	1,9021	1,9036	1,9051	1,9066	1,9081	1,9095	1,9110	1,9125	1,9140	1,9155
6,8	1,9169	1,9184	1,9199	1,9213	1,9228	1,9242	1,9257	1,9272	1,9286	1,9301
6,9	1,9315	1,9330	1,9344	1,9359	1,9373	1,9387	1,9402	1,9416	1,9430	1,9445

Продолжение прилож. 7

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7,0	1,9459	1,9473	1,9488	1,9502	1,9516	1,9530	1,9544	1,9559	1,9573	1,9587
7,1	1,9601	1,9615	1,9629	1,9643	1,9657	1,9671	1,9685	1,9699	1,9713	1,9727
7,2	1,9741	1,9755	1,9769	1,9782	1,9796	1,9810	1,9824	1,9838	1,9851	1,9865
7,3	1,9879	1,9892	1,9906	1,9920	1,9933	1,9947	1,9961	1,9974	1,9988	2,0001
7,4	2,0015	2,0028	2,0042	2,0055	2,0069	2,0082	2,0096	2,0109	2,0122	2,0136
7,5	2,0149	2,0162	2,0176	2,0189	2,0202	2,0215	2,0229	2,0242	2,0255	2,0268
7,6	2,0281	2,0295	2,0308	2,0321	2,0334	2,0347	2,0360	2,0373	2,0386	2,0399
7,7	2,0412	2,0425	2,0438	2,0451	2,0464	2,0477	2,0490	2,0503	2,0516	2,0528
7,8	2,0541	2,0554	2,0567	2,0580	2,0592	2,0605	2,0618	2,0631	2,0643	2,0656
7,9	2,0669	2,0681	2,0694	2 0707	2,0719	2,0732	2,0744	2,0757	2,0769	2,0782
8,0	2,0794	2,0807	2,0819	2,0832	2,0844	2 0857	2,0869	2,0882	2,0894	2,0906
8,1	2,0919	2,0931	2,0943	2,0956	2,0968	2,0980	2,0992	2,1005	2,1017	2,1029
8,2	2,1041	2,1054	2,1066	2,1078	2,1090	2,1102	2,1114	2,1126	2,1138	2,1150
8,3	2,1163	2,1175	2,1187	2,1199	2,1211	2,1223	2,1235	2,1247	2,1258	2,1270
8,4	2,1282	2,1294	2,1306	2,1318	2,1330	2,1343	2,1353	2,1365	2,1377	2,1389
8,5	2,1401	2,1412	2,1424	2,1436	2,1448	2,1439	2,1471	2,1483	2,1494	2,1506
8,6	2,1518	2,1529	2,1541	2,1552	2,1564	2,1576	2,1587	2,1599	2,1610	2,1622
8,7	2,1633	2,1645	2,1656	2,1668	2,1679	2,1691	2,1702	2,1713	2,1725	2,1736
8,8	2,1748	2,1759	2,1770	2,1782	2,1793	2,1804	2,1815	2,1827	2,1838	2,1849
8,9	2,1861	2,1872	2,1883	2,1894	2,1905	2,1917	2,1928	2,1939	2,1950	2,1961

Продолжение прилож. 7

Продолжение прилож. 7

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9,0	2,1972	2,1983	2,1994	2,2006	2,2017	2,2028	2,2039	2,2050	2,2061	2,2072
9,1	2,2083	2,2094	2,2105	2,2116	2,2127	2,2138	2,2148	2,2159	2,2170	2,2181
9,2	2,2192	2,2203	2,2214	2,2225	2,2235	2,2246	2,2257	2,2268	2,2279	2,2289
9,3	2,2300	2,2311	2,2322	2,2332	2,2343	2,2354	2,2364	2,2375	2,2386	2,2396
9,4	2,2407	2,2418	2,2428	2,2439	2,2450	2,2460	2,2471	2,2481	2,2492	2,2502
9,5	2,2513	2,2523	2,2534	2,2544	2,2555	2,2565	2,2576	2,2586	2,2597	2,2607
9,6	2,2618	2,2628	2,2638	2,2649	2,2659	2,2670	2,2680	2,2690	2,2701	2,2711
9,7	2,2721	2,2732	2,2742	2,2752	2,2762	2,2773	2,2783	2,2793	2,2803	2,2814
9,8	2,2824	2,2834	2,2844	2,2854	2,2865	2,2875	2,2885	2,2895	2,2905	2,2915
9,9	2,2925	2,2935	2,2946	2,2956	2,2966	2,2976	2,2986	2,2996	2,3006	2,3016

N	10	100	1000	10 000	100 000
$\ln N$	2,3026	4,6052	6,9078	9,2103	11,5129

ЛИТЕРАТУРА

Алукер Ш. М. Электрические измерения. М., «Колос», 1972.

Буховцев Б. Б. и др. Физика. М., «Просвещение», 1971.

Бобровников Л. З. Физические основы электроники. М., «Просвещение», 1972.

Гемке Р. Г. Неисправности электрических машин. М., Госэнергоиздат, 1963.

Под редакцией Н. Н. Горюнова. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам. М., «Энергия», 1972.

Дроздов Н. Г., Никулин П. В. Электроматериаловедение. М., «Высшая школа», 1968

Дыкин А. В., Овсчкин Ю. А. Электронные и полупроводниковые приборы. М., «Энергия», 1971.

Китаев В. Е., Шляпинтох Л. С. Электротехника с основами промышленной электроники. М., «Высшая школа», 1973.

Китаев В. Е. Трансформаторы. М., «Высшая школа», 1972.

Коган Б. Ю. Задачи по физике. М., «Просвещение», 1971.

Константинов В. И., Симонов А. Ф. Сборник практических примеров и задач по общей электротехнике. М., «Высшая школа» 1971.

Маршак Е. Л., Уманцев Р. Б. Ремонт электрических машин общепромышленного назначения. М., «Энергия», 1972.

Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б. Физика. М., «Просвещение», 1972.

Под редакцией Г. С. Ландсберга. Элементарный учебник физики. 2-й том. М., «Наука», 1971.

Попов В. С., Николаев С. А. Общая электротехника с основами электроники. М., «Энергия», 1972.

Пруслин З. М., Смирнова М. А. Радиотехника и электроника. М., «Высшая школа», 1970.

Раскатов А. И. Задачник по электротехнике и электрооборудованию. М., «Высшая школа», 1964.

Худобин А. И. и др. Сборник задач по алгебре и элементарным функциям. М., «Просвещение», 1973

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Глава I. **Основы электростатики** 5
§ 1. Физика электрических явлений 5
§ 2. Электрическое поле 6
§ 3. Емкость конденсаторов 8
Глава II. **Постоянный ток** 11
§ 4. Сила и плотность тока 11
§ 5. Резисторы 12
§ 6. Законы электрических цепей постоянного тока . . . 14
§ 7. Последовательное, параллельное и смешанное соединения потребителей и источников электрической энергии 18
§ 8. Тепловое действие тока 20
§ 9. Химическое действие тока 12
Глава III. **Электромагнетизм** 24
§ 10. Основные характеристики и параметры магнитного поля 24
§ 11. Магнитное действие тока. Намагничивание тел. Электромагниты 26
§ 12. Электромагнитная индукция. Э. д. с. самоиндукции. Индуктивность. 30
Глава IV. **Переменный ток** 35
§ 13. Основные характеристики и параметры 35
§ 14. Законы электрических цепей переменного тока . . . 39
§ 15. Последовательное, параллельное и смешанное соединения элементов цепей 43
§ 16. Трехфазная система переменного тока 54
Глава V. **Электроизмерительные приборы и электрические измерения** 62
§ 17. Погрешности приборов и измерений 62
§ 18. Измерение тока и напряжения 66
§ 19. Измерение сопротивлений 72
§ 20. Измерение мощности и энергии 77
§ 21. Измерение параметров реактивных элементов . . . 83
§ 22. Измерение неэлектрических величин 85
Глава VI. **Трансформаторы** 89
§ 23. Основные параметры и характеристики 89
§ 24. Режимы работы однофазных трансформаторов 93
§ 25. Трехфазные трансформаторы 98
§ 26. Автотрансформаторы 101
Глава VII. **Электрические машины переменного тока** . . . 105
§ 27. Асинхронные электрические машины 105
§ 28. Синхронные электрические машины 115
Глава VIII. **Электрические машины постоянного тока** . . . 118
§ 29. Генераторы постоянного тока 118
§ 30. Двигатели постоянного тока 123

Глава IX. **Основы промышленной электроники** 129
§ 31. Электронные приборы 129
§ 32. Ионные (газоразрядные) приборы 134
§ 33. Полупроводниковые приборы 137
§ 34. Фотоэлектронные приборы 143
§ 35. Выпрямители переменного тока 148
§ 36. Усилители низкой частоты 155
§ 37. Генераторы колебаний высокой частоты 160
§ 38. Применение электронных схем в системах автоматики 163
Ответы 168
Приложения 175
Литература 188

129
129
134
137
143
148
155
160
163
168
175
188

НОВИКОВ ПЕТР НИКОЛАЕВИЧ,
КАУФМАН ВЛАДИМИР ЯКОВЛЕВИЧ

ЗАДАЧНИК ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ С ОСНОВАМИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Редактор Г. А. Сильвестрович
Художник Ю. Д. Федичкин
Художественный редактор Т. В. Панина
Технический редактор Е. И. Герасимова
Корректор М. А. Минкова

Сдано в набор 23/XII-74 г. Подп. к печати 21/IV-75 г.
Формат 84×108$^{1}/_{32}$ Бум. тип. № 2 Объем 6 печ. л.
Усл. п. л. 10,08 Уч-изд. л. 9,33 Изд. № ЭГ —222
Тираж 100 000 экз. Заказ № 2328. Цена 22 коп.

План выпуска литературы для профтехобразования
издательства «Высшая школа» на 1975 г. Позиция № 44

Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14,
издательство «Высшая школа»

Ордена Трудового Красного Знамени
Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова
Союзполиграфпрома при Государственном комитете
Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли.
Москва, М-54, Валовая, 28

Новиков П. Н., Кауфман В. Я.

Н73 Задачник по электротехнике с основами промышленной электроники. Учеб. пособие для средн. проф.-техн. учеб. заведений. М., «Высш. школа», 1975.

190 с. с ил.

В книгу включены задачи по основным разделам программы «Электротехника с основами промышленной электроники».

Даны краткие теоретические сведения по электротехнике и основам промышленной электроники, приведены формулы, необходимые для решения задач, а также ответы и указания к решениям наиболее сложных задач.

Н $\frac{30306-277}{052\,(01)-75}$ 44—75

П2.1+6Ф0.3

КПЛ 1975.

22 коп.